

# Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentaminen

Liisa Pesonen, Jere Kaivosoja ja Pasi Suomi



 **TEHO**



TEHO-HANKKEEN JULKAISUJA 5/2010  
Tehoa maatalouden vesiensuojeluun

Taitto: Graafinen suunnittelutoimisto Seepia / Mia Grönberg

Kartat: Jere Kaivosoja

Julkaisun kirjoittajat toimivat tutkijoina Kasvinviljelytekniikan tutkimustiimissä MTT Vihdin toimipisteessä Vakolassa.

Julkaisu on saatavilla internetistä: [www.ymparisto.fi/teho](http://www.ymparisto.fi/teho)

ISBN 978-952-257-156-4 (nid.)

ISSN 1798-1115 (pain.)

ISBN 978-952-257-157-1 (PDF)

ISSN 1798-1123 (verkkok.)



Elinkeino-, liikenne- ja  
ympäristökeskus



Tehoa maatalouden vesiensuojeluun (TEHO) -hankkeessa v. 2008 - 2010 kehitetään ja toteutetaan käytännön vesiensuojelutoimenpiteitä. Hanketta rahoittavat maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö. Hankkeen toteutuksesta vastaavat Varsinais-Suomen ELY-keskus sekä MTK-Varsinais-Suomi ja MTK-Satakunta.

## Esipuhe

Maatalouden vesiensuojelutyötä on tehty Lounais-Suomessa yli kolme vuosikymmentä. Maataloudesta vesiin tulevaa kuormitusta on pyritty vähentämään pääasiassa erilaisilla lannoituksella, maanmuokkauksella tai kasvipeitteisyyteen liittyvillä toimenpiteillä pelloilla sekä hydrologiaan vaikuttavilla rakennemuutoksilla vesistöissä mm. rakentamalla kosteikkoja ja kuivatuksella. Tämän lisäksi erilaisilla ympäristönormeilla ja ohjeistuksella sekä ympäristöohjelmilla on pyritty vähentämään kuormitusriskiä.

Huolimatta pitkäaikaisesta vesiensuojelutyöstä on maatalouden vaikutus vesien tilaan yhä huomattava. Vesienhoitosuunnitelmissa on todettu, että maataloudesta tulevaa vesistökuormitusta tulisi vähentää ainakin kolmasosaan nykyisestä vuoteen 2015 mennessä, jotta EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) tavoitteet vesien hyvästä ekologisesta ja kemiallisesta tilasta saavutetaan pinta- ja pohjavesissä.

Maatalouden vesiensuojelun edistämiseksi käynnistettiin alueellisesti toimiva, mutta valtakunnallisesti vaikuttava TEHO-hanke (2008 - 2010). Hankkeen tavoitteena on tehostaa nykyisen maatalouden ympäristötukijärjestelmän toimenpiteiden hyödyntämistä, kokeilla uusia vesiensuojelukeinoja sekä esittää ympäristötukea sekä yleisesti maatalouden ympäristönsuojelutoimenpiteitä koskevia kehittämissuhteita.

Uusien tehokkaiden vesiensuojelumenetelmien tarve ja nykyisten toimenpiteiden parempi kohdentaminen ovat keskeisellä sijalla maatalouden kuormituksen vähentämisessä. Tässä uudenaikaisessa teknologiaan ja paikkatietoon perustavat ratkaisut ovat hyvin tärkeitä. Täsmäviljelyssä tuotantopanoksia ja toimenpiteitä kohdennetaan paikkakohtaisesti kasvuston ja pellon ominaisuuksien perusteella. Tällöin peltolohkon sisäinen vaihtelu tulee paremmin huomioitua ja tuotantopanoksia käytetään vain todellisen tarpeen mukaan. Tavoitteena onkin tuotantopanosten hyötysuhteen parantaminen sekä sitä kautta ympäristökuormituksen ja tuotantokustannusten vähentäminen.

Täsmäviljelystä ei ole tällä hetkellä suomenkielistä viljelijöille suunnattua opasta. Käytännön läheisen tiedon välittäminen viljelijöille on kuitenkin tärkeää, jotta viljelijät pystyvät harkitsemaan täsmäviljelyn käyttöön ottamista omalla tilallaan. Täsmäviljelytiedon levittämiseksi TEHO-hanke tilasi käsikirjoituksen tähän täsmäviljelyjulkaisuun MTT:ltä, jossa aiheesta on pitkään tutkittu Liisa Pesosen johdolla.

Airi Kulmala  
Projektikoordinaattori  
TEHO-hanke

## SISÄLLYS

Johdanto	5
1. Paikkakohtaiset ravinnetaseet pellon sisällä	6
1.1. Ravinnetaseiden vaihtelu pellon sisällä	6
1.2. Syitä ravinnetaseiden vaihteluun pellon sisällä	11
1.3. Ravinnetaseiden laskenta	12
2. Täsmäviljely	12
2.1. Yleistä täsmäviljelystä	12
2.2. Tilannekartoitus omilla pelloilla	13
2.3. Täsmäviljelyn taktinen suunnittelu	15
2.4. Työtehtävän suunnittelu	20
3. Toteutustekniikka	22
3.1. GPS-paikannus	22
3.1.1. GPS-paikannuksen toimintaperiaate	23
3.1.2. Paikannustarkkuus	24
3.1.3. Paikannusolosuhteet	25
3.1.4. Koordinaattijärjestelmät	27
4. Toteutustekniikka	27
4.1. Tiedonkeruu	27
4.1.1. Kaukokartoitus	27
4.1.2. Mittaus maastossa	29
4.2. Viljelytoimenpiteet ja työkonetekniikka	30
4.2.1. Muokkaus	31
4.2.2. Täydennyslannoitus	31
4.2.3. Kasvinsuojeluruiskutus	32
4.2.4. Sadonkorjuu	34
4.2.5. Datasta kartoiksi	36
4.3. Tarkat ajolinjat	38
4.3.1. Ohjausavustimien tarkkuus	39
4.3.2. Työn ja työtehtävien tarkkuus	40

5.	Tulevaisuuden näkymiä	40
5.1.	ISOBUS ja automaatio	40
5.2.	Tiedonhallintaa palveluna	42
6.	Arviointi	44
7.	Johtopäätökset	46
8.	Sanasto	47
	Kuvailulehti	52
	Documentation page	53



## Viljelijöiden kommentteja täsmäviljelystä

”Kyllä pellon sisällä on satovaihtelua, mutta sen määrää ei ole tullut koskaan oikein mitattua.”

”Nurmenkorjuun yhteydessä sadonvaihtelun näkee karhon koossa, ajonopeudessa, kuormien tai paalien lukumäärässä.”

”Kasvinsuojeluruiskutusten ja leikkuupuinnin yhteydessä näkee hyvin kasvuston korkeus- ja tiheysvaihtelut.”

”Silmällä ei viljakasvien satovaihtelua pysty näkemään.”

”Ongelmana on, kuinka reagoida todettuun sadonvaihteluun. Jos on huono sato jossakin kohdassa peltoa, täytyykö siihen laittaa seuraavalla kasvukaudella enemmän vai vähemmän lannoitetta?”

”Lannoitus-suositukset pitäisi olla lajikekohtaisia.”

”Toteutustekniikat tuntuvat monimutkaisilta käyttää ja ovat kalliita.”

”Saako täsmäviljelylaitteiden hinnan takaisin lannoitesäästöinä tai sadonlisänä?”

”Maatalouspolitiikan myllerrykset tuovat epävarmuutta viljelyn tulevaisuuteen.”

”Tieto- ja automaatiotekniikka on tulevaisuuden juttu, ja etenkin suurilla tiloilla välttämättömyys.”

”Tulevat viljelijäsukupolvet ovat ”sinuja” tietotekniikan ja automaation kanssa, ja edellyttävät sen hyväksikäyttöä myös maanviljelystä.”



## Johdanto

Täsmäviljelyteknologiaa on ollut tarjolla viljelijöiden käyttöön jo reilut 15 vuotta. Sitä on mainostettu ympäristöystävällisenä viljelytekniikkana, sillä se mahdollistaa mm. lannoitteiden annostelun paikkakohtaisesti kasvien tarpeen mukaan, yllannoittamista välttäen. Täsmäviljelyteknologiaa on kuitenkin otettu käyttöön erittäin hitaasti, lähinnä ”pioneeri-henkisten” viljelijöiden toimesta. Täsmäviljelytekniikka on yleisesti nähty kalliina, hankalahkona käyttää eikä siitä yksittäisellä tilalla saatavat hyödytkään ole olleet aivan selkeitä. Uuteen teknologiaan investoiminen on nähty vielä suurena riskinä.

Täsmäviljelyn hitaan kehityksen taustalla on myös tyytyväisyys lohko-kohtaisen viljelyn tarkkuustasoon. Taustalla on ajatus, että tarkempaan viljelyyn ei kannata pyrkiä, sillä esimerkiksi vuosien välinen sääolosuhteiden vaihtelu on niin suurta, että se vie pohjan pois viljelyn tarkentamiselta. Peltoviljelyn aiheuttama ympäristökuormitus, tuotettavan raaka-aineen epätydyttävä laatu sekä alittuneet sato-odotukset kannustavat kuitenkin pohtimaan asiaa edelleen ja kehittämään viljelytekniikkaa eteenpäin.

Täsmäviljely edellyttää viljelyprosessien nykyistä tarkempaa tuntemusta ja se mahdollistaa paikan, mutta myös ajan suhteen tapahtuvan toimenpiteiden optimoinnin. Täsmäviljely on yksi potentiaalinen keino parantaa peltoviljelyn ravinnetaseita ja siten vähentää ravinteiden huuhtoutumista pelloilta. Tässä raportissa luodaan katsaus tämän hetken täsmäviljelyteknologiaan sekä annetaan käytännön neuvoja siihen, kuinka täsmäviljelyn hyödyntämisen voi aloittaa omalla maatilalla nimenomaan ravinnetaseiden parantamista silmällä pitäen.

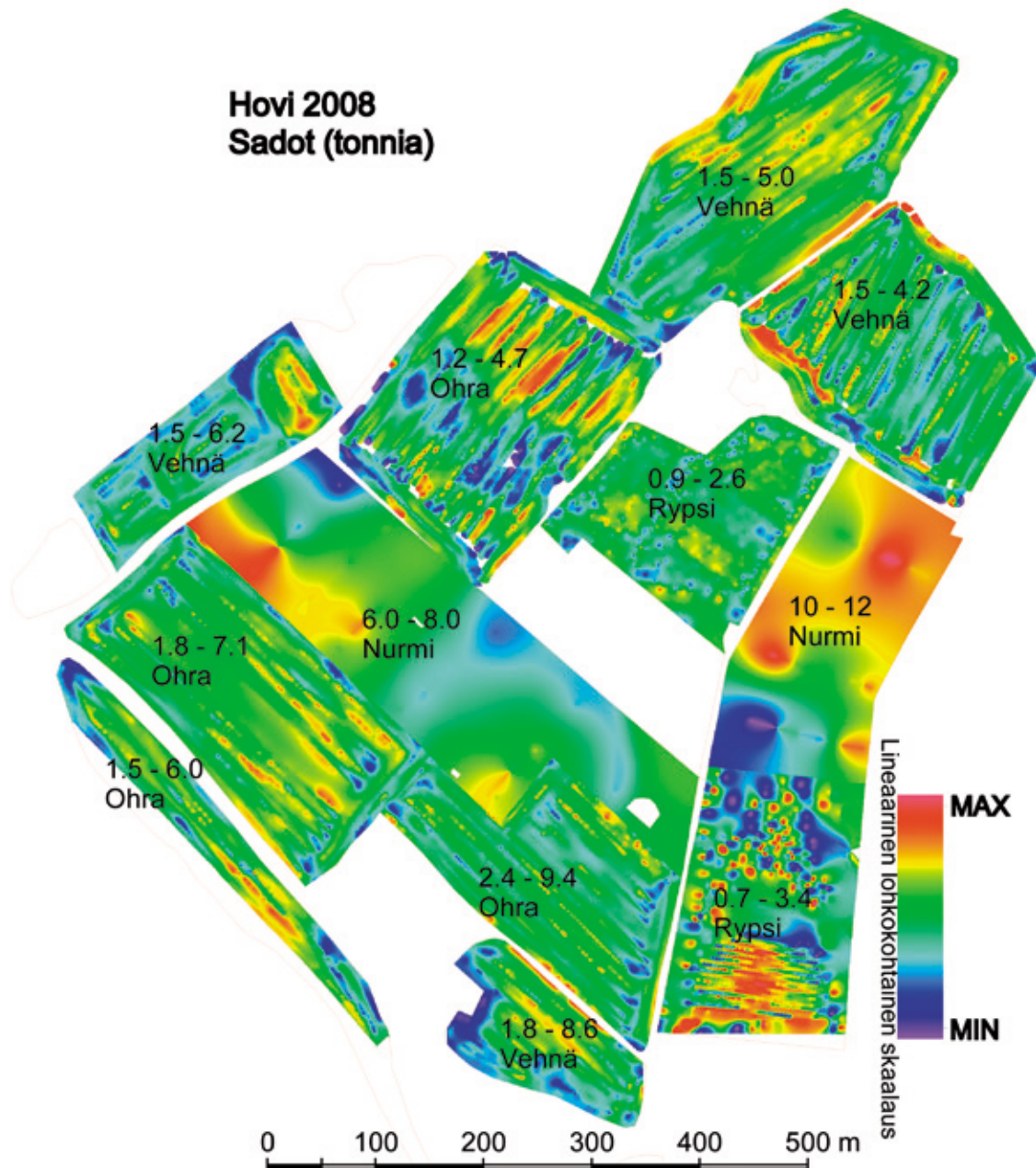


## **1. Paikkakohtaiset ravinnetaseet pellon sisällä**

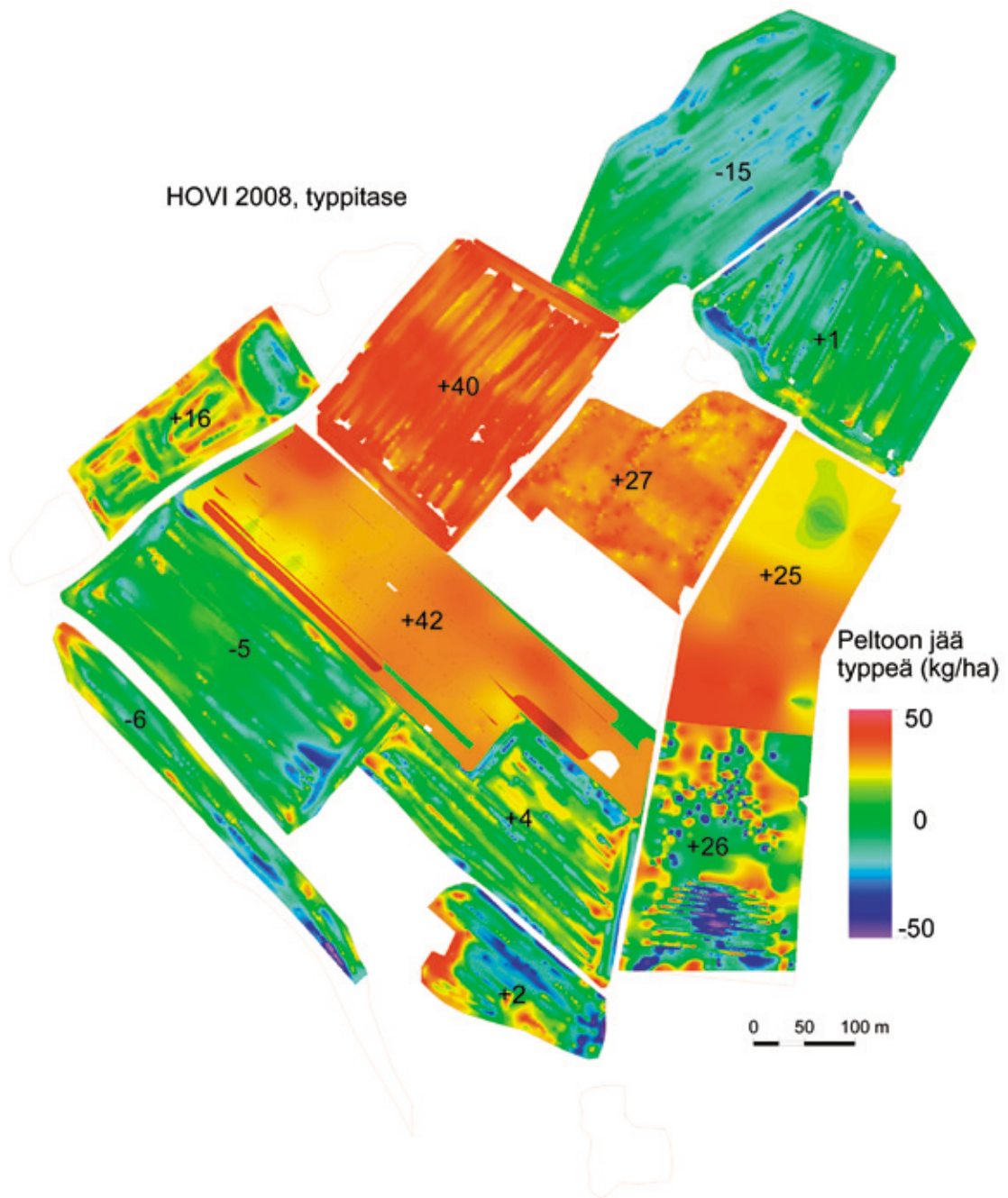
### **1.1. Ravinnetaseiden vaihtelu pellon sisällä**

Peltoviljelyn ravinnetaseet voivat paikkakohtaisesti tarkastellen vaihdella suuresti. Vaihtelun määrää ja sen merkitystä talous- ja ympäristönäkökulmasta on vaikea arvioida silmämääräisesti. Vuonna 2008 laskettiin MTT Vihdin Hovin alueen peltolohkoilta ravinnetaseita typelle ja fosforille paikkakohtaisesti mitatusta aineistosta. Taseet laskettiin yksinkertaisesti siten, että kasvukaudella lannoitteena annettusta ravinnemäärästä vähennettiin sadon mukana pellolta poistunut ravinnemäärä. Lannoitus annettiin lohkoikohtaisena tasalannoituksena. Tarkastelussa ollut alue oli kooltaan 33 ha ja se koostui kahdeksasta kasvulohkosta. Viljelykasveina olivat ohra, nurmi ja rypsi. Mittausaineiston pohjalta laadittiin kuvissa 1 - 3 esitetyt satokartat sekä typen ja fosforin tasekartat. Kartoista huomataan, että sadonmuodostus ja paikkakohtaiset ravinnetaseet vaihtelevat alueella huomattavasti lohkonsisäisesti kaikilla mukana olleilla viljelykasveilla. Ohran hehtaarisato vaihteli suurimmillaan yhden peltolohkon sisällä 2 400 kilosta 9 400 kiloon (kuva 1), typpitaseen vaihtelu oli 114 kg/ha (kuva 2) ja fosforitaseen 20 kg/ha (kuva 3). Rypsisadon vaihteluväli oli suurimmillaan peltolohkon sisällä 700 - 3 400 kg/ha, typpitaseen vaihtelu 95 kg/ha ja fosforitaseen 17 kg/ha. Nurmilohkoilla satovaihtelu oli suurimmillaan peltolohkon sisällä 2 000 kg/ha, typpitaseen vaihtelu 45 kg/ha (lannoituksen kiilaavan päällekkäisajon kohdalla 117 kg/ha) ja fosforitaseen vaihtelu 2 kg/ha. Itse fosforitase oli negatiivinen kauttaaltaan ko. lohkoilla.

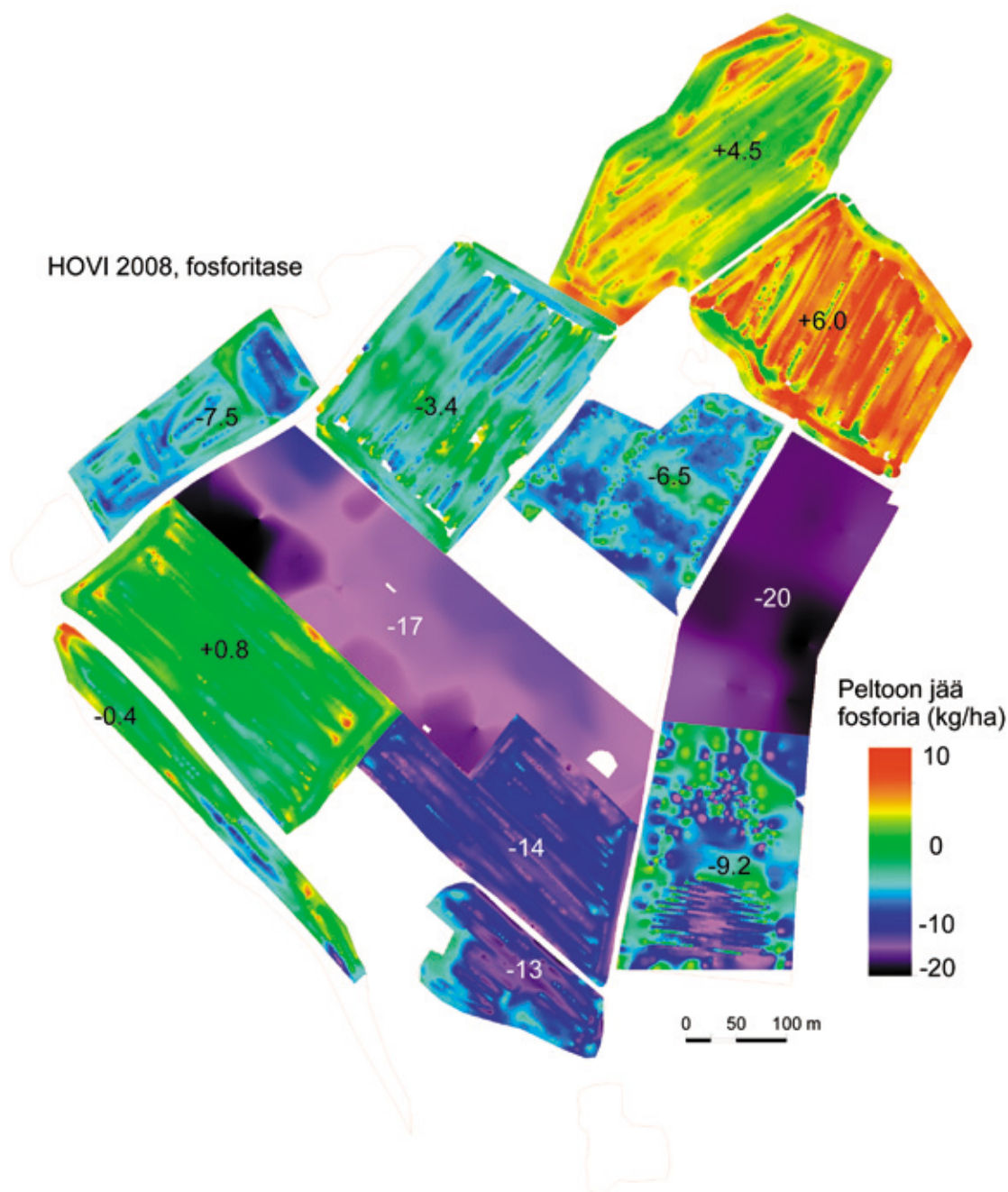




Kuva 1. Viljelykasvien kuiva-ainesadot Hovin lohkoilla Vihdissä vuonna 2008.



Kuva 2. Tyypitaseet (lannoitetyppi - sadon sisältämä typpi) Hovin lohkoilla vuonna 2008.



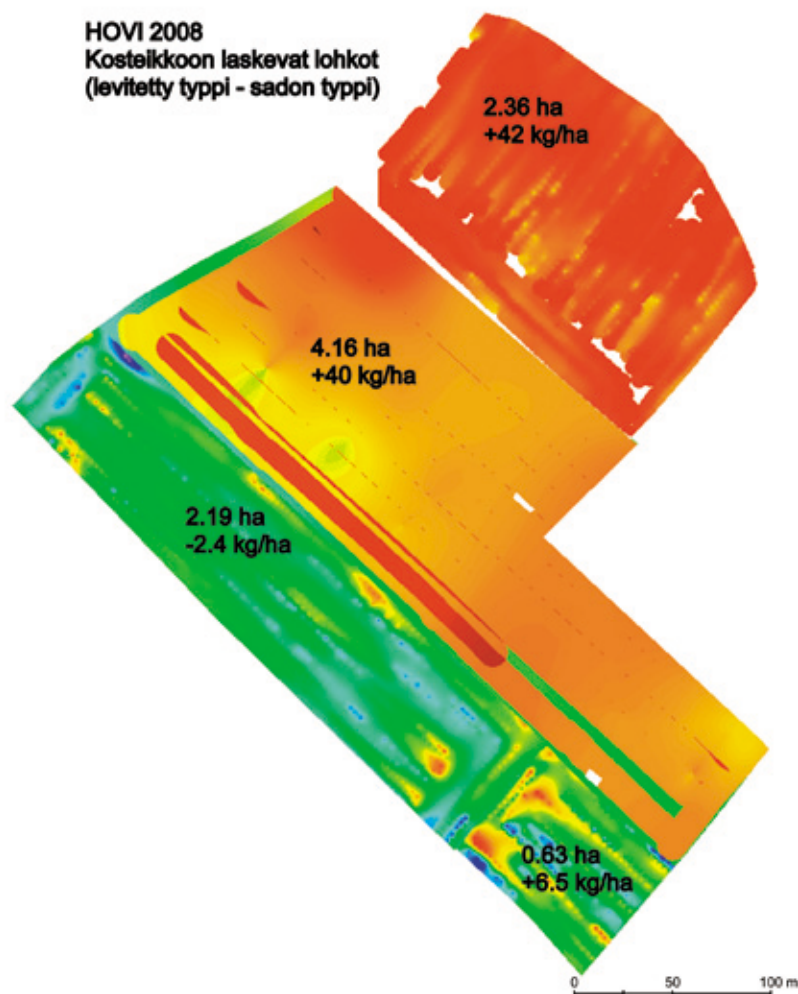
Kuva 3. Fosforitaseet (lannoitefosfori - sadon sisältämä fosfori) Hovin lohkoilla vuonna 2008.

Eri lohkojen väliset selvät tasoerot ravinnetaseissa saman kasvilajin lohkojen kesken selittyvät erilaisella sato-odotuksella, lannoitusstrategialla ja lannoitelajilla sekä kylvöjen ja lannoituksen ajoittumisella. Koska kullekin peltolohkolle lannoitteet levitettiin kauttaaltaan tasaisesti samalla annosmäärällä, merkitsee lannoitustapa sitä, että jotkin osat peltolohkosta saavat liian paljon ravinteita kasvien tarpeeseen nähden ja jotkin osat liian vähän. Joissakin osissa peltoa ravinnemäärä osuu toki oikeaankin. Liiallinen lannoitus merkitsee taloudellista menetystä hukkaan heitettyinä lannoitteina ja liian vähäinen lannoitus käyttämättömän satopotentialin muodossa. Varsinkin typpilannoituksen kohdalla korkean satopotentialin osissa lohkoa ei myöskään saavuteta haluttua sadon laatua, esimerkiksi



valkuaispitoisuutta. Liian vähäisellä fosforilannoituksella (tase miinuksella) peltoa köyhdytetään, mikä voi olla tarkoituskin hyvin fosforirikkailla mailla. Miinuksella oleva typpitase kertoo puolestaan, että kasvit ovat ottaneet liukoista varastotyyppiä, jota on ollut maassa edellisen kasvukauden jäljiltä tai maan orgaanisen aineksen tai kasvijätteiden (nurmi, viherlannoitus) hajoamisen (mineralisaation) seurauksena. Positiivinen tase puolestaan kertoo, että kasvit ovat jättäneet käyttämättä ravinteita. Nämä ravinteet puolestaan joko rikastuvat maahan, jolloin ylijäämä tulisi ottaa huomioon seuraavaa lannoitusta suunniteltaessa, tai ravinteet ovat vaarassa huuhtoutua vesistöihin tai pohjaveteen.

Tarkastellulla Hovin alueella on kosteikko, johon johtava 9,34 hehtaaria kattava salaojasto ulottuu neljän eri kasvulohkon alueelle. Vuonna 2008 ojaistoalueen typpitaseet vaihtelivat suuresti kasvulohkoittain (kuva 2). Alueen typpiylijäämä kasvukaudella oli yhteensä 266 kg ja keskimäärin 28,5 kg/ha. Hovin kosteikkoon johtavan veden nitraattisensorimittauksien mukaan kasvukauden ensimmäisestä lannoituskerrasta (nurmen lannoitus 29.4.2008) lähtien vuoden 2008 loppuun mennessä oli alueelta poistunut nitraattityyppiä yhteensä 45 kg eli hieman alle 5 kg/ha ha (<http://www.mtt.fi/mttkasvu/pdf/mttkasvu8.pdf>). Toukuun 2009 alkuun mennessä alueelta oli huuhtoutunut nitraattityyppiä yhteensä 64 kg eli vajaa 7 kg/ha.



Kuva 4. Hovin kosteikkoon laskeva alue ja sen typpitaseet kasvukaudella 2008.

Täsmäviljely on eräs keino tai paremminkin keinovalikoima, jolla paikkakohtaista ravinnevaihtelua voisi paremmin hallita. Mutta mistä alkaa? Seuraavassa käydään läpi vaihe vaiheelta huomioon otettavia asioita sekä erilaisia vaihtoehtoja. Yksi lähtökohdista on ravinnetasevaihtelujen syiden ymmärtäminen. Peilaamalla näitä syitä omiin viljelyalueisiin voi jo päätellä, olisiko täsmäviljelyn mahdollisuudet otettava vakavammin harkintaan omalla tilalla.

## 1.2. Syitä ravinnetaseiden vaihteluun pellon sisällä

Ravinnetaseiden paikkakohtaisen vaihtelun taustalla on usein maaperässä esiintyvä vaihtelu.

- Maalajien ja maalajikerrostumien vaihtelut sekä pintamaassa että syvemmissä kerroksissa aina salaojitussyvyyteen saakka. Eri maalajit sitovat vettä ja ravinteita erilailla, mikä näkyy varastoravinteiden ja -veden erilaisena määränä sekä erilaisena kuorettumis- ja huuhtoutumisalttiutena. Syvemmissä maakerroksissa ohutkin karkea maalajikerrostuma voi katkaista veden kapillaarisen nousun pohjavedestä kasvin juurien saataville. Pohjaveden korkeus sinällään on merkittävä tekijä sateettomina ajanjaksoina.
- Maan rakenteen vaihtelu, joka käsittää maan mururakenteen, huokoisuuden, huokoskojakauman ja jatkuvat huokokset. Huonon maan rakenteen synä on usein maan tiivistyminen. Rakenne vaikuttaa maan vedenpidätyskykyyn ja juurten kasvukykyyn maassa veden ja ravinteiden äärelle.
- Orgaanisen aineksen pitoisuus vaikuttaa monella tavalla. Orgaaninen aine sinällään vaikuttaa maan rakenteeseen sekä veden ja ravinteiden pidätyskykyyn. Lisäksi orgaanista ainesta hajottavat pieneliöt muodostavat kestäviä muruja sekoittaen orgaanista ainesta ja kivennäismaata keskenään. Orgaanisen aineksen hajotessa maahan vapautuu kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevia ravinteita. Hajoaminen myös happamoittaa maata, millä puolestaan on vaikutusta eräiden ravinteiden liukoisuuteen ja käyttökelpoisuuteen kasveille.
- Maanpinnan korkeusprofiili: ravinteet ja vesi pyrkivät kulkeutumaan rinnettä alas ja kerääntymään alla olevalle notkoalueelle.

Pellon sisäistä vaihtelua ravinnepitoisuuksissa voivat aiheuttaa myös seuraavat tekijät.

- Metsäsaarekkeen läheisyys, jolloin puusto varjostaa pellonreunan kasveja ja vie ravinteita ja vettä viljelykasveilta.
- Paikallisen pienilmaston muodostuminen, esimerkiksi lammen välittömässä läheisyydessä, jolloin lämpösumman kertyminen voi poiketa muusta peltoalasta.
- Viljelyhistoria, jolloin pellolla esiintyvä vaihtelu voi olla itse aiheutettua. Esimerkiksi osalla peltolohkoa on voitu viljellä runsaasti lannoitettuja avomaan vihanneksia, jolloin maahan on kertynyt varastoon ravinteita tai maan pH on korkeampi kuin muualla. Myös erilaiset viljelytekniset seikat, kuten päällekkäinen lannoitus tai poikkeuksellinen tiivistävä peltoliikenne voivat näkyä seuraavina kasvukausina paikkakohtaisina sadon ja ravinnetaseiden vaihteluina.

Sääolosuhteet, käytettävä viljelytekniikka teknisine virheineen, rikkakasvien, tuholaisten ja tautien esiintyminen korostavat tai häivyttävät edellä mainituista syistä johtuvaa vaihtelua.

### 1.3. Ravinnetaseiden laskenta

Edellä kuvatut ravinnetaseet typelle (N) ja fosforille (P) laskettiin yksinkertaistetulla tavalla: tase (T) = lannoitteen ravinnemäärä (L) - sadossa poistunut ravinnemäärä (SR) eli  $T = L - SR$ .

Sadossa poistunut ravinnemäärä on puolestaan sadon kuiva-ainesadon määrän (S) ja sadon ravinnepitoisuuden (R %) tulo eli  $SR = S * R \%$ .

Mitattavia asioita ravinnetaseiden laskentaa varten ovat:

- Lannoitusmäärä
- Lannoitteen ravinnepitoisuus
- Sadon määrä; jos oljet korjataan pois, niin jyvien lisäksi myös olkien määrä
- Sadon kosteus
- Sadon ravinnepitoisuus (N, P)

Sadon typpipitoisuuden määrittämisen mielekkyyttä lisää se, että samalla saadaan määritetyksi sadon valkuaispitoisuus (ohra:  $N*6,25$  ja vehnä  $N*6,5$ ), mikä on usein myös sadon käyttötarkoitusta ja hinnoittelua määräävä tekijä. Mikäli ravinnetaselaskelmaa viedään pidemmälle, voidaan ottaa huomioon maan varastoravinteet ja kasvukauden aikana mineralisoituva ravinnemäärä.

## 2. Täsmäviljely

### 2.1. Yleistä täsmäviljelystä

Täsmäviljely on luonnon vaihtelun mukaista viljelyä, jossa pellolla tehtävät viljelytoimenpiteet, kuten tuotantopanosten annostelu, kohdistetaan paikkakohtaisesti tarpeen mukaan. Tarvetta määrittelevät talous, ympäristö sekä sosiaaliset ja eettiset tekijät. Kasvin hyvinvoinnin kannalta optimaalinen viljely, panoksia riittävästi mutta ei liikaa, usein täyttää kaikki edellä mainitut kriteerit.

Täsmänä viljelylohkolle voidaan kohdistaa muun muassa seuraavia tuotantopanoksia tai toimia:

- lannoitteet ja kalkki
- kasvinsuojeluaineet
- siemenet (määrä ja kylvösyvyys)
- muokkaus (syvyys ja intensiteetti)
- sadetus ja muu kastelu
- kateaineet

- työkoneen optimaalinen kuormittaminen
- polttoaineen kulutus
- työ (ajolinjat, peltoliikenne, logistiikka)

Kannattavimman täsmätoimenpiteen valinta vaatii pellon olosuhteiden riittävää tuntemista. Esimerkiksi ravinnetaseiden parantamisessa voi tulla kyseeseen lannoituksen tarkentamisen sijaan myös maan kosteusolosuhteiden parantaminen vaikkapa paikkakohtaisen sadetuksen avulla.

Täsmäviljelyssä tarkennetaan panosten käyttöä sekä paikan että ajan suhteen. Myös oikeiden panosten valinta on tärkeää. Esimerkkinä tästä on valinta hidas- ja nopealiukoisten lannoitteiden välillä. Siihen, kuinka pienipiirteiseen alueelliseen tarkasteluun täsmäviljely viedään ja kuinka tarkkaa panosten annostelun tulee olla, vaikuttavat muun muassa seuraavat tekijät:

- viljelykohteen vaatimukset ja vaste/herkkyys panokselle (kasvi, lajike)
- viljelylle asetetut vaatimukset (laatu- ja ympäristösäädösten vaatimukset)
- käytettävissä olevan teknologian taso ja sen suorituskyky (paikannustarkkuus, työkoneiden työleveys ja viiveet, annostelutekniikat (esim. keskipakolevitys pintaan vai sijoituslannoitus jne.)

Täsmäviljelyn toteutuksessa hyödynnetään paikkatietotekniikoita, automaatiota ja tieto- ja viestintäteknologioita (ICT).

- Paikkatieto sisältää sijaintitiedon (koordinaatit) sekä ominaisuustiedon (attribuutit, esim. satomäärä). Täsmäviljelyssä kaikki viljelytieto on sidottu paikkaan. Täsmäviljely hyödyntää paikkatietojärjestelmiä (Geographic Information System, GIS) muun muassa viljelytöiden suunnittelussa. GIS on yleisesti kuvattuna järjestelmä, jonka avulla voidaan tallentaa, hallita, analysoida tai esittää paikkatietoa eli paikkaan sidottua tietoa. Nykyisin useimmissa viljelysuunnitteluohjelmistoissa on tuki paikkatietotoiminnoille.
- Automaatio, esim. automaattisesti paikan mukaan säätyvä työkone, auttaa viljelijää toteuttamaan toimenpiteet tarkasti ja väsymättä pitkää päivääkin tehtäessä.
- ICT antaa mahdollisuuksia käyttäjäystävällisen tiedonhallinnan rakentamiseen täsmäviljelyn tueksi.

Paikannusta käytetään kahteen päätarkoitukseen eli 1. paikanmäärittämiseen, kun halutaan saada sijainti kartalle (tarvitaan sijainnin koordinaatit) ja 2. navigointiin, kun halutaan löytää tietty paikka maastossa. Peltoviljelyssä käytännöllisimmäksi paikannustekniikaksi on osoittautunut satelliittipaikannus (Global Navigation Satellite Systems, GNSS).

## 2.2. Tilannekartoitus omilla pelloilla

Peltolohkojen tuntemus on tärkeä lähtökohta ravinnetaseiden hallinnassa. Edellä kohdassa 1.2. mainittujen syytekijöiden tarkistaminen peltolohkoittain antaa viitteitä siitä, olisiko aiheellista ryhtyä tarkempaan tilannekartoitukseen. Tilannekartoitus voi edetä vaiheittain eri vuosina pelto tai kasvilaji kerrallaan, tilan resurssien mukaan.

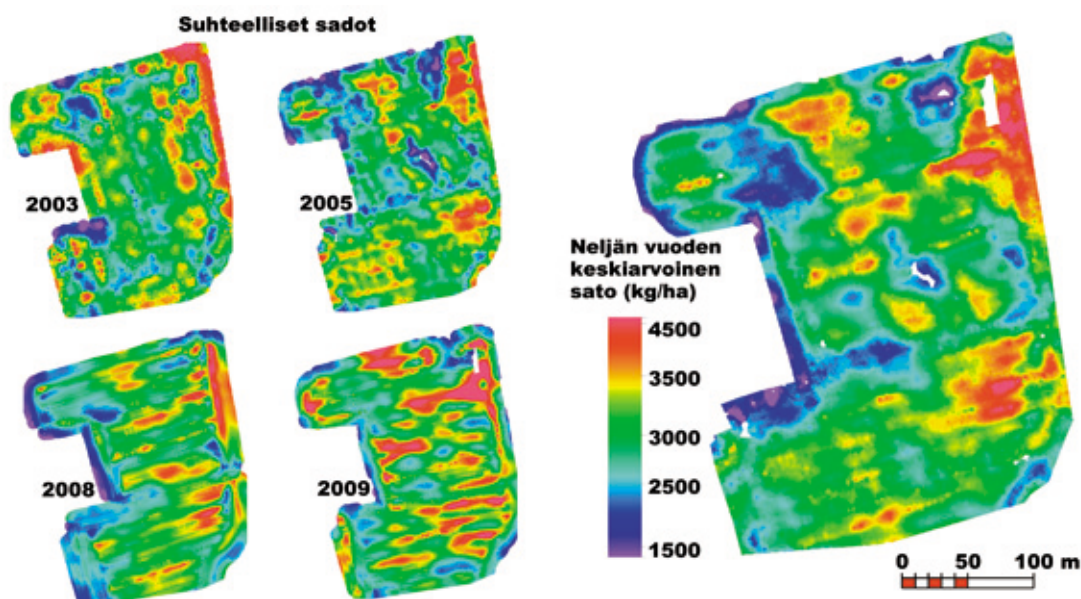


Kasvukauden aikana tapahtuva ilmakehuus on yksi vartenotettava tapa hahmottaa pelloilla esiintyvää paikkakohtaista vaihtelua. Muokatun maan maalaji, kosteus ja multavuusvaihteluja saadaan näkyviin tavallisista värikuvista. Kylvön jälkeen, ennen tähkälle tuloa otetuista väärävärikuvista saadaan hyvä käsitys viljakasvien paikkakohtaisesta vihermassasta ja siten satopotentiaalista. Ilmakuvista todettuja erilaisia kasvupaikkoja on syytä tarkastella lisää jalkautumalla pellolle ja selvittämällä mahdollisia syitä erilaisuuteen.

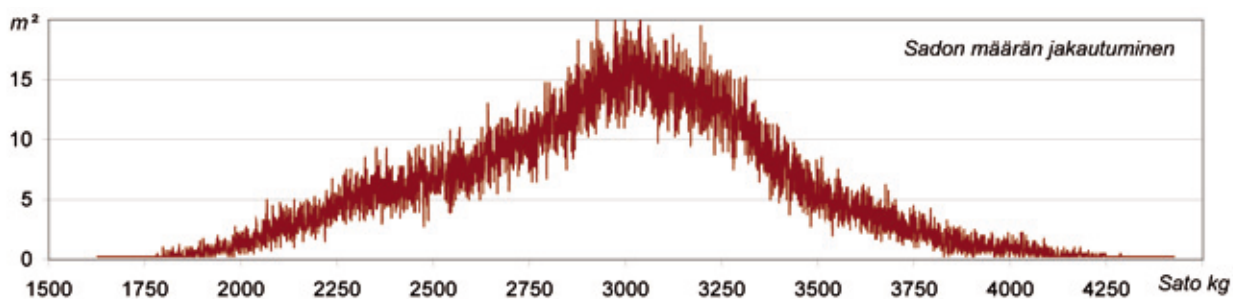
Mikäli ilmakuvien tai muun kokemuksen perusteella todetaan, että odotetun sadon paikkakohtainen vaihtelu on riittävän suurta, kannattaa harkita ravinnetaseiden paikkakohtaista mittaamista. Jos esimerkiksi viljalla satomäärän vaihtelu näyttäisi olevan biomassakartasta tehdyn satoennusteen perusteella enemmän kuin 1 000 kg/ha, mikä merkitsee yli 20 kg jyväsadon ottamaa typpeä hehtaaria kohden, ja syynä vaihteluun on jokin muu kuin kasvukaudella tehty viljelytekniinen virhe, ravinnetaseiden tarkemmalle mittaukselle voi olla perusteet. Arvioitu pellon sisäisen vaihtelun suuruus ja vaihtelun piirissä olevan peltopinta-alan määrä yhdessä lannoitteen ja sadon hinnan kanssa määrittävät kynnsarvon, milloin ravinnetaseiden tarkempi lohkonsisäinen ja paikkakohtainen mittaaminen ovat kannattavia. Tarkalla mittaamisella saadaan tietoa taseen ravinnemääristä ja näin voidaan tarkemmin laskea, kannattaako siirtyä esimerkiksi lannoitteiden paikkakohtaiseen säätöön tai paikkakohtaisiin perusparannustoimiin, jotka merkitsevät aina myös taloudellista ja ajankäytöllistä lisäpanostusta. Esimerkiksi 20 kg/ha ravinnetaseen vaihtelun taloudellinen merkitys 30 ha alalle voidaan laskea seuraavasti käyttäen salpietarityppilannoitusta:  $\pm 20 \text{ kg N/ha} * 30 \text{ ha} * 0,76 \text{ €/kg N} = 456 \text{ €}$ .

Lisäksi tulee huomioida sadon määrä ja laatu. Muun muassa sadon proteiinipitoisuus kertoo siitä, onko typpilannoituksen määrä ollut sadonmuodostuksen suhteen riittävä, vaikka tase olisi miinuksella. Korkea sadon proteiinipitoisuus miinusmerkkisellä tyypitaseella kertoo siitä, että kasvilla on ollut kasvukauden olosuhteisiin nähden riittävästi typpeä saatavilla esimerkiksi maan orgaanisen aineksen mineralisaation kautta eikä lannoitemäärän nostamiselle ole tarvetta. Korkea sadon määrä ja alhainen proteiinipitoisuus taas kertovat siitä, että suuremmalla typpilannoituksella olisi todennäköisesti saatu vielä lisää satoa tai valkuaispitoisuus olisi ollut korkeampi.

Sadonvaihtelu samalla peltolohkolla voi ilmentyä eri vuosina ja eri kasvilajeilla eri tavoin. Kuvassa 5 esitetään saman pellon paikkakohtaiset sadot puimurin sadonmittausjärjestelmällä mitattuna neljänä eri vuonna. Kuvassa on myös näiden neljän vuoden keskiarvoinen tulos. Kolmasosa tästä keskiarvoisesta sadosta on alle 2 800 kg/ha ja kolmasosa on yli noin 3 150 kg/ha (kuva 6). Kyseisellä lohkolla on selvästi havaittavissa alueita, joilla on säännöllisesti keskivertoa parempi tai huonompi sato. Tästä saadaan suuntaa mahdollisten eritavalla lannoitettavien alueiden muodostamiseksi.



Kuva 5. Sadot neljältä vuodelta sekä satojen keskiarvo. Vuonna 2003 koko lohko ja vuonna 2005 yläosa lohkoa oli ohralla. Vuosina 2008 ja 2009 koko lohko sekä vuonna 2005 alaosa lohkoa oli vehnällä.



Kuva 6. Keskimääräisen sadon alueellinen vaihtelu yhdellä peltolohkolla.

## 2.3. Täsmäviljelyn taktinen suunnittelu

Ravinnetaseiden parantamiseen pyrittäessä on täsmänä kohdennettuja viljelytoimenpiteitä useita.

### **Paikkakohtainen fosforilannoitus**

Menetelmässä lannoitemäärä määräytyy maalajin, sato-odotuksen ja maaperän fosforiluvun mukaan. Suurin haaste on määrittää fosforitaltaan erilaisten kasvupaikkojen sijainti ja näin muodostuvien erilaisten kasvupaikkavyöhykkeiden rajat peltolohkolla. Erilaisten maalajivyöhykkeiden määrittämiseen voidaan käyttää kaukokartoitusta (kuva 7). Eri maa-

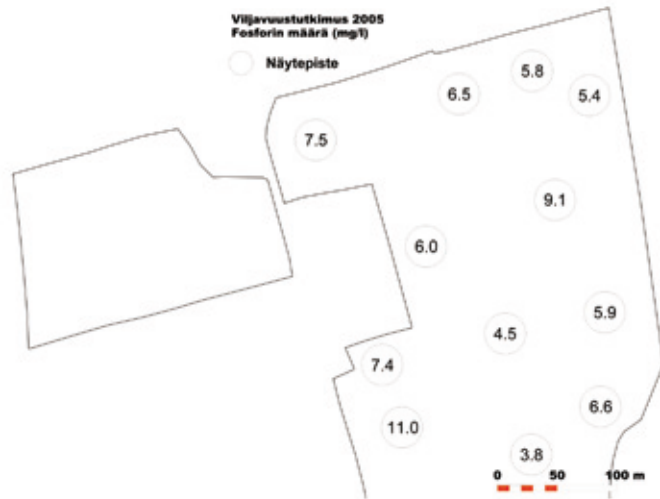
lajien vaihtumisvyöhykkeiden sijainti voidaan kirjata ylös myös paikannuslaitteiden avulla pellolla kuljettaessa ja silmäämäärisesti tai erilaisten sensorien (kamerat, vetovastus, työsyvyys) avulla havainnoimalla.

Viljakasvien fosforin otto on suhteessa satomäärään. Tästä voidaan päätellä, että tasalannoitusta käytettäessä fosforia rikastuu pellon osiin, joissa on vuodesta toiseen jääty sadon määrällisestä tavoitteesta. Vastaavasti maa on todennäköisesti köyhtynyt niistä osista, joista on saatu tavoitesatoa suurempi sato. Näin ollen usean vuoden satokartat tai biomassan määrittäminen kaukokartoituksella antavat suuntaa siitä, millaisia fosforilannoitusvyöhykkeitä peltolohkolle muodostuu (kuva 8).

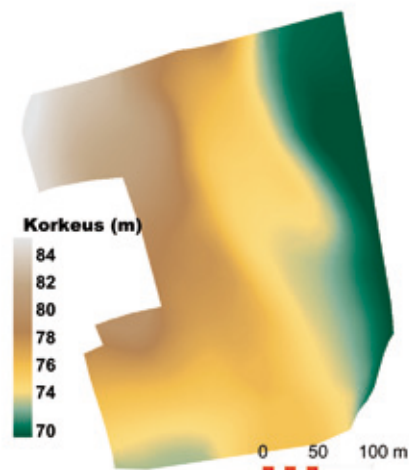
Nurmilla puolestaan sadon fosforipitoisuus voi vaihdella suuresti kasvupaikkojen ja vuosien välillä muun muassa maan pintakerroksen kosteusolojen vaihdellessa. Jos kasvupaikan maan pintakerros on ollut sadonmuodostuksen aikana hyvin kuiva, kasvien (esim. timotein) fosforin otto on voinut häiriintyä. Samaan aikaan peltolohkon toisessa kasvupaikassa kosteusolot ovat voineet olla normaalit ja kasvin fosforin otto onnistua hyvin. Näin fosforilannoitusvyöhykkeiden määrittämisessä nurmelle täytyy ottaa huomioon sekä biomassa/satokartta että maan pintakerroksen kosteusoloja kuvaava kartta. Nurmen osalta on todettu, että maan fosforiluvun ollessa luokkaa 10 - 12 mg/l tai yli, niin fosforilannoituksella ei saada aikaan sadonlisää. (Lisätietoja: Nurmirehujen tuotanto ja käyttö, Tieto tuottamaan 132, <http://www.proagria.fi/tuotteet>.)

Peltolohkoilla, joilla on huomattavia korkeuseroja ja siten jyrkähköjä rinteitä ja notkoja, on hyvä ottaa huomioon myös pintavalunnan mukana kulkeutuva fosfori. Näin rinteiden yläosissa voi fosforipitoisuus olla alhaisempi kuin mitä sadon ottaman fosforin mukaan arvioitu tilanne on. Vastaavasti rinteiden alaosa ja notko taas ovat rikastuneet fosforista (kuva 9). Peltolohkoilla, joilla tapahtuu merkittävää veden pintakerrosvirtailua, olisi hyvä ottaa sato/biomassakartoituksen lisäksi huomioon myös lohkon korkeusmalli.

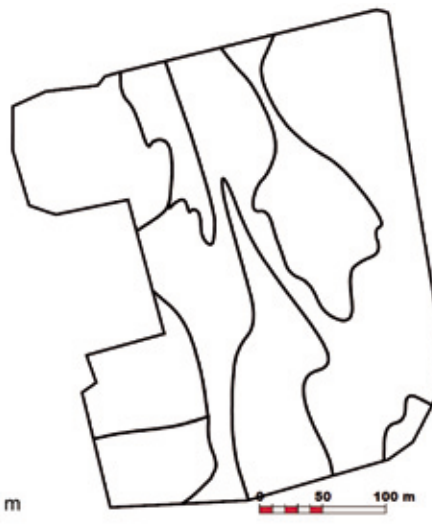
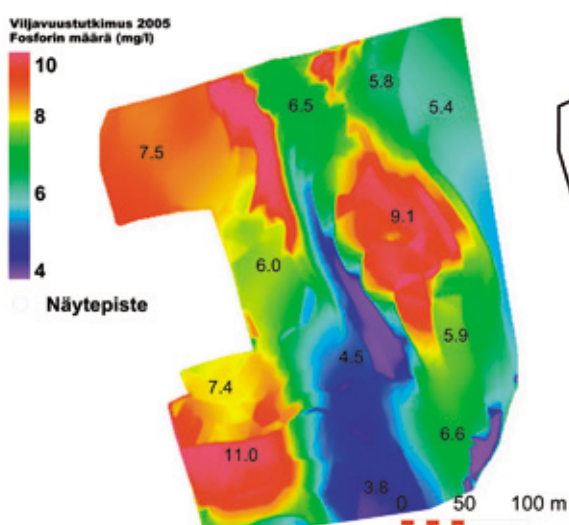
Kullekin hahmotellulle erilaiselle kasvupaikalle tehdään lannoitemäärän suunnittelu erikseen, hyviä viljelytapoja sekä säännöksiä noudattaen. Muodostettujen lannoitusvyöhykkeiden rajoja on hyvä verrata satokarttoihin vuosi vuodelta ja seurata muun muassa maa-analysein maan fosforitilan kehittymistä vyöhykkeillä ja vyöhykkeiden vaihtumisalueilla. Jos fosforitilan kehittyminen maassa on ennakoidun kaltaista, on vyöhykkeet ja lannoitus suunniteltu oikein. On syytä ottaa huomioon, että fosforitilanne maassa kehittyy hitaasti, joten maa-analyysit 3 - 5 vuoden välein ovat riittäviä.



Kuva 7. Mustavalkoisen ilmakuvan perusteella määritetyt näytteenottopisteet (vasemmalla) sekä niiden fosforiluvut vuonna 2005 (oikealla).



Kuva 8. Satokarttojen mukaan muodostetut fosforivyöhykkeet sekä pellon tarkka korkeusmalli.



Kuva 9. Maan fosforiluvut viljavuustutkimuksen mukaan vuonna 2005. Karttaesitystä luotaessa huomioitiin fosforinäytteiden lisäksi pellon korkeus- ja kaltevuusmallit. Oikealla karrikoidut fosforivyöhykkeet.

## **Paikkakohtainen typpilannoitus**

Mualla maailmassa täsmätyppilannoituksella tarkoitetaan ns. jaettua lannoitusta, jossa typpilannoite levitetään pintalannoituksena paikkakohtaisesti kasvuston tarpeen mukaan useassa erässä kasvukauden aikana. Suomen oloihin sovellettuna jaettu typpilannoitus voisi tapahtua esimerkiksi siten, että viljakasveille annetaan kevät- tai kylvölannoituksena pienehkö typpilannoitemäärä tasalannoituksena lohkon alhaisimman odotettavissa olevan satotason, esimerkiksi kuivahkojen kesien satotason mukaan. Kasvukauden edetessä, esimerkiksi viljalla 3 - 4-lehtiasteella, arvioidaan kasvuston biomassaa kaukokartoituksella tai työkoneeseen asennetuilla sensoreilla. Vihermassakarttoja verrataan kesän toteutuneisiin kasvuolosuhteisiin (esim. kosteustilanne) ja tehdään arvio satopotentialista. Niihin kasvupaikkoihin, joista odotetaan keväällä asetettua satotavoitetta korkeampi sato, annetaan tarvittava lisälannoitus täsmänä. Viljakasveilla, joilla tavoitellaan korkeaa valkuaispitoisuutta, voidaan kasvuston tilanne tarkistaa vielä juuri ennen tähkälle tuloa ja antaa tarvittaessa toteutuneen paikkakohtaisen vihermassasadon mukaan vielä lisätyppilannoitus valkuaispitoisuuden nostamiseksi.

Mikäli peltolohkolta on karttunut jo ennestään kasvupaikkakohtaista kokemusta, muun muassa satokarttoja edellisiltä vuosilta, kevät- tai kylvölannoituksen voi tehdä täsmälannoituksena niin viljoille kuin nurmellekin. Tällöin annettava lannoitusmäärä suunnitellaan kasvuvyöhykkeittäin, kunkin kasvuvyöhykkeen odotettavissa olevan satotason mukaan. Tämä täsmälannoitustapa sopii muun muassa mallasohralle, jolla edellä mainittu jaettu lannoitustapa nostaa valkuaispitoisuuden liian korkeaksi. Mikäli käytetään myös jaettua typpilannoitusta, valitaan kevätlannoituksen taso maltillisen sato-odotuksen mukaan ja annetaan lisälannoitus täsmänä tarvittaessa. Tällöin minimoidaan esimerkiksi tulevan kasvukauden sääolosuhteiden aiheuttama riski typen hyväksikäytölle.

## **Sadetus/kastelu**

Vesitalous ja kasvien käytettävissä oleva vesimäärä ja sen ajoittuminen eri kasvuvaiheille määrää sekä sadonmuodostusta että ravinteiden hyväksikäyttöä. Kasvupaikan maajä, maan rakenne ja multavuus vaikuttavat siihen, kuinka hyvin kasvupaikka kykenee varastoimaan sulamis- ja sadevesiä kasvuston tarpeisiin. Pohjaveden korkeus yhdessä maan kapillaarisen vedenjohtamisominaisuuden kanssa vaikuttaa juuriston vedensaan-tiin kasvukauden ehtiessä pidemmälle. Kun nämä tekijät vaihtelevat peltolohkon sisällä, vaihtelevat myös kasvupaikan kosteusolosuhteet kasvukauden aikana. Suotuisten kosteusolojen järjestäminen toimivan kuivatus- ja sadetus- tai kastelujärjestelmän avulla pienentää lannoituksessa otettavaa riskiä kuivuuden ja märkyyden varalle erityisesti silloin, kun lannoitteet annetaan kasvustolle yhdessä erässä. Tosin kerralla kylvön yhteydessä koko kasvukauden tarpeisiin annetussa lannoituksessa on suuri riski ravinteiden huuhtoutumiselle ajanjaksona, jolloin kasvusto ei ole vielä ottanut ravinteita eli heti lannoituksen jälkeen. Säättösalaojitus varastoaltaineen on yksi vartenotettava keino kierrättää alkukesästä huuhtoutuneet ravinteet takaisin kasvuston käyttöön kesän aikana, tavallaan jaettuna lannoituksena. Haihtumistappiot ovat tällöin kuitenkin todennäköisesti suuret.



## Kylvösyvyys ja siemenmäärä

Jos kasvupaikan heikon sadon syyksi paljastuu orastumisongelma, on paremman orastumisen ja kasvutiheyden aikaansaamiseksi syytä tarkentaa tulevien kylvöjen ajoitusta sekä kasvupaikan oikeaa kylvösyvyyttä ja siemenmäärää. Siemenet kylvetään syvyyteen, jossa on riittävästi itämisen vaatimaa kosteutta, mutta ei liian syvään, jotta kaikkien siementen itämisenergia riittäisi oraan pinnalle pääsyyn. Kasvupaikoissa, joissa kylvökerros on ehtinyt kuivahtamaan hieman liikaa ja kylvösyvyyttä joudutaan siten kasvattamaan, voidaan lisätä siemenmäärää riittävä orastiheyden saavuttamiseksi. Lohkot, joilla on kuorettumiselle alttiita kasvupaikkoja, tulisi kylvää riittävän ajoissa kevätkestouden aikana, jotta kylvösyvyys riskipaikoissa voi olla matala ja siten orastuminen nopeaa. Näin kuorettumisriskin sisältäviä päiviä jää vähemmän kuin syvään kylvettäessä.

## Muokkaus

Maanmuokkauksen tavoitteena ovat hävittää edellisen kasvuston jätteet viljelymaan pinnalta, parantaa maan rakennetta ja torjua rikkakasveja. Muokkaustavalla, muokkaussyvyydellä ja intensiteetillä voidaan vaikuttaa optimaalisen kylvöajankohdan määräytymiseen, kasvuston orastumisnopeuteen, maanpinnan kuorettumisriskiin sekä rikkakasvien ja eroosion määrään. Muokkaustekniikan valintaan vaikuttavat erityisesti maanrakenne ja maalajiominaisuudet sekä viljelykierto. Jos peltolohko muokataan alueittain eri tekniikoilla kosteusolosuhteiden perusteella, voidaan puhua jo täsmämuokkauksesta. Esimerkiksi suurten lohkojen kosteimmat kasvupaikat voidaan syyskyntää, jolloin alue kuivuu kylvökuntoon seuraavana keväänä samanaikaisesti muun, kyntämättä jätetyn alueen kanssa. Seuraavana keväänä kyntämättömien pellonosien käsittelemätön sänki rikotaan kevenetyllä menetelmällä, esimerkiksi lautasmuokkaimella. Tämän jälkeen varsinaisena kylvömuokkauksena äestetään koko peltolohko.

Kuorettumisalttiita kasvupaikkoja voidaan käsitellä esimerkiksi siten, että ne ainoastaan kevytmuokataan ennen kylvöä, jolloin maan pinnalle jää hienoinen olkikerros lieventämään mahdollisen sateen aiheuttamaa kuorettumaa. Suuren eroosioriskin omaavat kasvupaikat voidaan viljellä muokkaamatta suorakylvönä, jolloin kasvin juurien sitomat ja kasvijätteidensä suojaamat maapartikkelit ovat paremmin suojassa hakkaavan sateen ja virtaavan veden voimalta. Suorakylvön kääntöpuolena on kuitenkin liukoisten raviteiden, etenkin fosforin rikastuminen maan pintakerrokseen ja siten altistuminen pintavalunnalle. Ravinteiden huuhtoutumisen ehkäisemiseksi etenkin kalteville kasvupaikoilla maan pinnalle voidaan levittää täsmänä kosteutta ja ravinteita sitovia sekä maan rakennetta parantavia aineita, kuten kipsiä ja biohiiltä. Jos maalajeiltaan ja kosteusolosuhteiltaan vaihteleva lohko muokataan yhdellä ja samalla menetelmällä, on lohkon kuivempia ja jäykempiä osia tarvittaessa käsiteltävä useampaan kertaan, jotta turvataan riittävä kylvöalustan laatu.

## Täsmätoimenpiteiden valinta

Se, mihin tärkeysjärjestykseen toimenpiteet yksittäisellä tilalla muotoutuvat, määräytyy

pellon sisäisen vaihtelun taustalla olevista syistä. Käytännössä maatilalle käyttöön saatavissa oleva täsmäviljelykalusto, sen kustannus ja vastaavasti odotettavissa olevat hyödyt ratkaisevat viime kädessä, mihin toimenpiteisiin ryhdytään. Hyötyjä mietittäessä mahdollisten lannoitesäästöjen tai sadonlisän ohella merkittäviä hyötyjä voivat olla sadon parempi laatu ja siten sadosta saatava parempi hinta. Myös koneautomaation tuoma työn helpottuminen voi olla merkittävää. Tästä esimerkkinä ovat työsuoritusten tarkka ja automaattinen kirjaaminen lohkokirjanpitoon, työnaikainen työn laadun seuranta ja varoitukset, päisteautomaatiikka sekä työkoneen ohjausautomaatiikka.

## 2.4. Työtehtävän suunnittelu

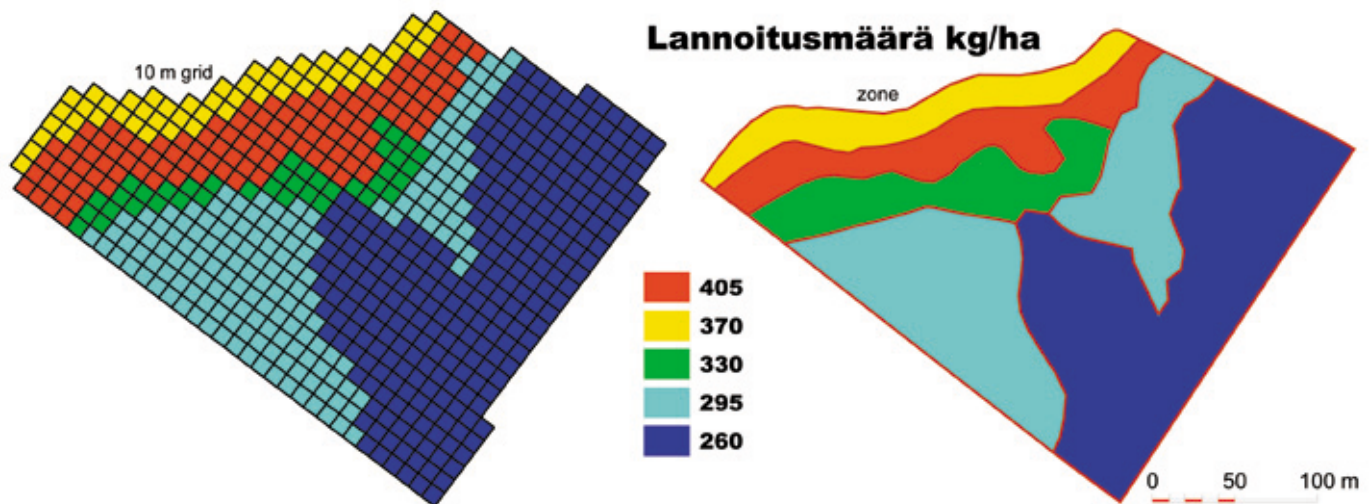
Täsmäviljelyn eri toimenpiteiden suunnittelussa voidaan lähteä liikkeelle siitä, että erilaisia todettuja lohkonsisäisiä kasvupaikkoja käsitellään kuin ne olisivat erillisiä kasvulohkoja, joilla kuitenkin viljellään samaa kasvilajiketta. Täsmäviljelyyn kuuluu olennaisena osana tehtyjen panostusten dokumentointi ja toteutuneen lopputuloksen eli sadon määrän ja laadun mittaaminen. Kerätyistä tiedoista, kuten peltolohkojen ravinnetaseista sekä työkoneen tekemistä töistä saadaan laadittua erillisiä karttakerroksia. Aluksi osa tiedoista voi olla vain lohkokohdasta, mutta täsmäviljelyn edetessä tarkempaa tietoa kertyy lukuisista eri pellon ja viljelyn ominaisuuksista. Kerättyä dataa analysoimalla voidaan eri kasvupaikoille (vyöhykkeille, englanniksi zone) tehtäviä viljelytoimenpiteitä hienosäätää haluttuun suuntaan. Voidaan ajatella, että kullekin viljelytoimenpiteelle luodaan ajan myötä kasvupaikkakohtaiset (vyöhykekohtaiset) satofunktiot. Kerätty data on luonteeltaan paikkadataa ja sen tehokkaaseen hyödyntämiseen tarvitaan paikkatietoanalyysia. Paikkatiedon käsittelyssä voidaan suorittaa laskutoimituksia eri karttakerrosten välillä, jolloin lopputuloksena saadaan mallinnettua esimerkiksi paikkakohtaisia satofunktioita eri tekijöiden suhteen. Tältä pohjalta aiempaa täsmäviljelyn toteutussuunnitelmaa voidaan tarkentaa eri viljelytoimenpiteille.

Aiemmin kerätyn tiedon (offline) avulla tehtyjä suunnitelmia voidaan tarkentaa erilaisin online-mittauksin myös itse työn kuluessa pellolla. Tarkentavat säädöt tarvitsevat online-mittauksiin perustuvat päätöksentekomallit perustakseen. Online-säädössä tehtävän suunnittelu on siis pitkälle automatisoitua.

### Työtehtävä (Task)

Täsmäviljelyä toteutettaessa työkone työstää maata tai kasvustoa taikka annostelee panoksia eri tavoin ja eri määrän suunnitelman eri vyöhykkeillä. Tällöin työkoneen paikkakohtaisesti sopeutuva säätö tarvitsee suunnitelman kullekin työtehtävälle (muokkaus, lannoitus, ruiskutus, puinti jne.) konekielisenä Task-tiedostona (englanniksi Task-file). Täsmäviljelyn työtehtävissä, joissa annosmäärät vaihtelevat pellon eri osissa, käytetään yhteistä nimitystä VRA (Variable Rate Application). Työkone saa tiedon levitysmäärästä joko ennakoon luodun kartan (kuva 10), sensorimittaukseen perustuvan mallinnuksen tai näiden kahden yhdistelmän perusteella.





Kuva 10. Lannoitussuunnitelma ruudukkona sekä vyöhykkeinä.

Useat viljelyn suunnitteluun tarkoitetut ohjelmistot sisältävät karttaohjelman, jolla kyetään esittämään (visualisoimaan) paikkatietoja. Markkinoilta löytyy myös ohjelmistoja, joissa on paikkatieteanalysiosioita ja joilla voidaan luoda täsmäviljelykoneiden käskyttämiseen tarvittavia konekielisiä suunnitelmatiedostoja eli Task-tiedostoja. Task-tiedostot sisältävät suunnitelmakartan lisäksi yleensä myös seuraavat tiedot:

- lohkotunnus
- työntekijän tunnus
- panoslaji
- keskimääräinen oletuspanosmäärä per ala (tilanteisiin, joissa VRA ei ole käytössä)
- kokonaispanosmäärä lohkolle

Alla on luettelo internetsivuista, joiden kautta voi tutustua eri ohjelmistojen tarjoamiin ominaisuuksiin.

<http://www.suonentieto.fi/tuotteet/agrineuvos/yleisesittely.html> -> Karttaohjelma  
<https://www.webwisu.fi/demosite.php?lang=358>  
<http://www.softsalo.fi/ohjelmaesittelyt/peltotuki-pro>  
<http://www.datatech.fi/PeltoW.htm>  
<http://www.microimages.com/documentation/TechGuides/55PRECFARM.pdf>  
<http://johndeeredistributor.fi/index.php/Maatalouskoneet/Tuotteet/Taesmaeviljely-ja-paikkatietosovellukset>  
<http://www.agcotechnologies.com/fi/gta400.htm>  
<http://www.farmworks.com/>  
<http://www.csiro.au/products/PrecisionViticultureSoftware.html>  
<http://www.gisdevelopment.net/application/agriculture/products/agrip0008.htm>

Tiedonsiirto eri tiedonkeruuohjelmistojen sekä suunnitteluohjelmistojen välillä voi olla ongelmallista, sillä usein eri ohjelmistoilla on omat formaattinsa. Toistaiseksi useimmista ohjelmistoista karttoja saa lähetettyä ja vastaanotettua shape (\*.shp)-formaattissa, mutta

myös XML-pohjainen tiedonsiirto on voimakkaasti yleistymässä.

Etukäteen suunniteltu työtapauhtuma luo varmuutta kuljettajalle siitä, mitä pellolla tullaan tekemään. Kuitenkin työn aikana monesti havaitaan, että suunnitelmasta olisi hyvä poiketa. Jotta muuttuviin tilanteisiin olisi mahdollista reagoida, tarvitaan reaaliaikaisia havaintoja kasvustosta, maaperästä ja ympäristöstä. Reaaliaikainen paikkakohtainen ns. online-säätö toteutetaan ajon aikana tehtyjen mittausten perusteella. Hyvinä esimerkkeinä voidaan pitää kasvuston lisälannoitusta, jossa tarvittava lannoitemäärän asetusarvo (kg/ha) lasketaan reaaliaikaisen kasvuston vihermassamittauksen perusteella (YARA N-Sensor, [www.yara.com/products\\_services/fertilizers/Support\\_services/support\\_tools](http://www.yara.com/products_services/fertilizers/Support_services/support_tools) tai GreenSeeker, [www.ntechindustries.com](http://www.ntechindustries.com)) tai rikkakasvitorjunnassa, jossa kameratekniikalla havaitaan kestorikkakasvipesäkkeet, jotka käsitellään rikkakasvitorjunta-aineilla (WeedSeeker, [www.ntechindustries.com](http://www.ntechindustries.com)).

Olemassa olevaa viljelysuunnitelmaa on myös mahdollista täydentää ja hienosäätää reaaliaikaisilla mittauksilla. Esimerkiksi traktorin katolle asennettavan sääaseman (WatchDog Sprayer Station, [www.specmeters.com](http://www.specmeters.com)) mittausten perusteella kasvinsuojeluruiskutuksen parametreja ja asetusarvoja on mahdollista tarkentaa. Kuljettajan on helpompaa tehdä muun muassa suutinvalinta ja tankkiseos, kun päätöksen tukena on tarkempaa tietoa ympäristöolosuhteista.

Paikkakohtainen säätö luo lisähaasteen tuotantopanosten kuljetuslogistiikan hallintaan varsinkin silloin, kun panosten annostelun asetusarvo asetetaan työaikana reaaliaikaisen mittausten perusteella online-säädössä. Maatilan kuljetuslogistiikkaa suunniteltaessa viimeistään tuotantopanoksia siirtävän kuljettajan olisi tiedettävä, kuinka paljon esimerkiksi lannoitteita olisi viljelyalueelle vietävä. Tästä johtuen työtehtävän suunnitelmätiedostossa (Task-tiedosto) on oltava keskimääräinen tuotantopanosten määrä, joka lohkoille ollaan sijoittamassa. Jos panosten käyttö lohkolle on suunniteltua suurempi, automaatiojärjestelmä kertoo työn edetessä kuljettajalle, kuinka paljon panoksia olisi tuotava lisää maatilan varastosta. Tieto olisi mahdollista siirtää tilan lannoitteiden kuljettamisesta vastaavalle henkilölle langattomasti internetin välityksellä tai perinteisesti puhelimella. Käytännössä panosten riittävyys varmennetaan lastaamalla niitä maatilan varastolla jakelukuljetukseen yli suunnitellun.

### 3. Toteutustekniikka

Tässä osiossa käydään läpi täsmäviljelyn toteutuksessa tarvittavaa tekniikkaa, teknisten ratkaisujen ominaisuuksia sekä alan termistöä.

#### 3.1. GPS-paikannus

Satelliittipaikannus on paikannusmenetelmä, joka on ainoa maailmanlaajuinen sijaintitie-

don määrittämenetelmä. Saman paikantimen kanssa voi siis toimia missä päin maailmaa tahansa ilman mitään erityisjärjestelyjä. Tämä helpottaa huomattavasti myös paikannuslaitteiston kanssa käytettävän kartta-aineiston käyttöä. Suurelta osin näistä syistä satelliittipaikannustekniikat ovat yleistyneet myös maatalouden käyttöön.

Satelliittipaikannuksen yleinen ilmaisu GNSS on lyhenne sanoista Global Navigation Satellite System. GNSS-järjestelmiä on käytössä toistaiseksi kaksi: yhdysvaltalaisen sotilaskäyttöön kehittämä ja selvästi yleisin käytössä oleva GPS sekä venäläinen GLONASS. Eurooppalaisten vielä kehitteillä oleva Galileo on pitkään tehnyt tuloaan. Näiden lisäksi varsinkin Kiina ja Japani ovat olleet aktiivisia omien järjestelmiensä kehittämisessä.

### 3.1.1. GPS-paikannuksen toimintaperiaate

GPS-tekniikka juontaa juurensa merenkulun tarpeista. Lähtösatamassa asetetaan satamaan aikaan kaksi erittäin tarkkaa kelloa, joista toinen jätetään satamaan ja toinen otetaan mukaan laivaan. Kun lähtösatamasta lähetetään radioteitse lähetyshetken kellonaika ja verrataan sitä kellonaikaa laivassa vastaanottohetken kellonaikaan, on laivan etäisyys satamasta kellonaikojen ero kerrottuna valonnopeudella. GPS-satelliitit lähettävät vastavalla tavalla käytännössä vain lähetyshetken kellonaikansa. Koska satelliitit ovat jatkuvasti liikkeessä toisin kuin satama, lähettävät satelliitit tiedon myös kaikkien GPS-satelliittien arvioituista sijainneista ja lentoradoista. Kun tiedetään neljän eri satelliitin etäisyys GPS-paikantimesta, voidaan sen sijainti laskea. Neljä satelliittia tarvitaan, jotta voidaan ratkaista neljä tuntematonta tekijää eli vastaanottimen kolme koordinaattia ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) ja kellonaika.

GPS-satelliittien lähettämä etäisyystieto sisältää virheitä. Nämä virheet johtuvat epätarhasta satelliitin sijaintiedosta, satelliitin kellon epätarkkuudesta, ilmakehän vaikutuksesta viestin kulkuun, GPS-vastaanottimen virheistä sekä viestin heijastumisesta esimerkiksi peltikatosta. GPS-satelliittien lentorata on noin 20 200 km:n korkeudessa, joten niiden lähettämä viesti kulkee pitkän matkan eri ilmakehän osissa.

Näitä virheellisiä etäisyyksiä voidaan korjata lukuisin eri keinoin. Perusperiaate korjaustiedon määrittämiselle on se, että GPS-satelliittien lähettämää etäisyystietoa verrataan tunnettuun pisteeseen maanpäällä. Näin määritetty etäisyyden virheen korjaus kullekin satelliitille voidaan lähettää GPS-vastaanottimelle esimerkiksi satelliitilla (EGNOS) tai radioteitse (perinteinen DGPS) huomioiden myös erilaisia ilmakehämalleja.

Edellä mainittujen lisäksi etäisyyden tarkempaan määrittämiseen voidaan käyttää tietoa lähetetyn viestin kantoaallon vaihekulmasta. Etäisyystieto voidaan myös lähettää ja lukea kahdella eri taajuudella, jolloin eri taajuudet mahdollistavat ilmakehän vaikutuksen vähentämisen. Näiden useiden korjauskeinojen ja niiden yhdistelmien lisäksi voidaan muun muassa tarkan laitteiston sijaintitietoa heikentää ohjelmallisesti, jolloin saadaan jälleen uuden tarkkuus- ja hintaluokan paikannuskalusto.

### 3.1.2. Paikannustarkkuus

GPS-laitteiden valmistaja ilmoittaa paikannustarkkuuden usein paikallaan tehtyihin testimittauksiin perustuen. Liikkuvan työkoneyhdistelmän paikannus on kuitenkin epätarkempaa, sillä käytössä olevat satelliitit vaihtelevat enemmän eikä edellisten paikannusten tuloksia voida hyödyntää yhtä helposti kuin paikallaan olevan laitteen ollessa kyseessä. Tarkkuudet ilmoitetaan yleensä siten, että laite on esimerkiksi 67 % ajasta ilmoitetun tarkka ja muulloin epätarkempi. Monissa peltotöissä systemaattinen GPS-virhe ei kuitenkaan haittaa, kunhan tämä virhe on samanlainen koko peltotyön ajan. Kun paikannustarkkuutta lisätään korjaustietoja käyttäen, ongelmia voi aiheuttaa korjaustiedon tilapäinen menettäminen, sillä siitä seuraa yleensä metriluokan harppaus paikannuslaitteen ilmoittamassa paikassa.

GPS-teknologia sekä mittaus- ja suodatustekniikat kehittyvät jatkuvasti, joten yleispäteviä tarkkuustietoja paikannuksen eri korjausteknologioille on mahdotonta sanoa. Autonomisen GPS-paikantimen eli esimerkiksi tavanomaisen autonavigaattorin paikannustarkkuus on noin kymmenen metrin luokkaa. EGNOS-korjauksen avulla voidaan tilapäisesti saavuttaa 1 - 2 metrin tarkkuus. Jos edellisenä päivänä kesken jäänyttä peltotyötä jatkaa seuraavana päivänä, voi ikäväkseen havaita paikannuslaitteen osoittaman sijainnin edellisen päivän työn lopetuskohdassa hypänneen noin 0 - 5 metriä. Kaikkein tarkimmilla mittausjärjestelmillä saavutetaan liikkuvassakin ympäristössä jatkuvasti noin tuuman tarkkuus, tosin tällaisen RTK-mittauskaluston hinta voi nousta jopa kymmeneen tuhansiin euroihin. Tarkin mittausjärjestelmä on olosuhteille haavoittuvainen, ja niinpä niiden avulla ei välttämättä löydy esimerkiksi rajalinjoja tiheästä metsästä. RTK-järjestelmien ja ilmaisen EGNOS-korjauksen väliin mahtuu lukuisia eri hintaluokan ja korjaustavan menetelmiä. Muista, radiotaajuuksilla toimivista korjaustavoista poiketen VRS-korjauksen vastaanotto tapahtuu GSM-viestinä matkapuhelimen kautta. Useilla näillä on laitteiden hankintahinnan lisäksi esimerkiksi vuotuinen maksu korjaussignaalin käytöstä (taulukko 1). Nämä korjaukset perustuvat joko satelliittien tai maa-asemien käyttämiseen korjaustietojen lähetyksessä.

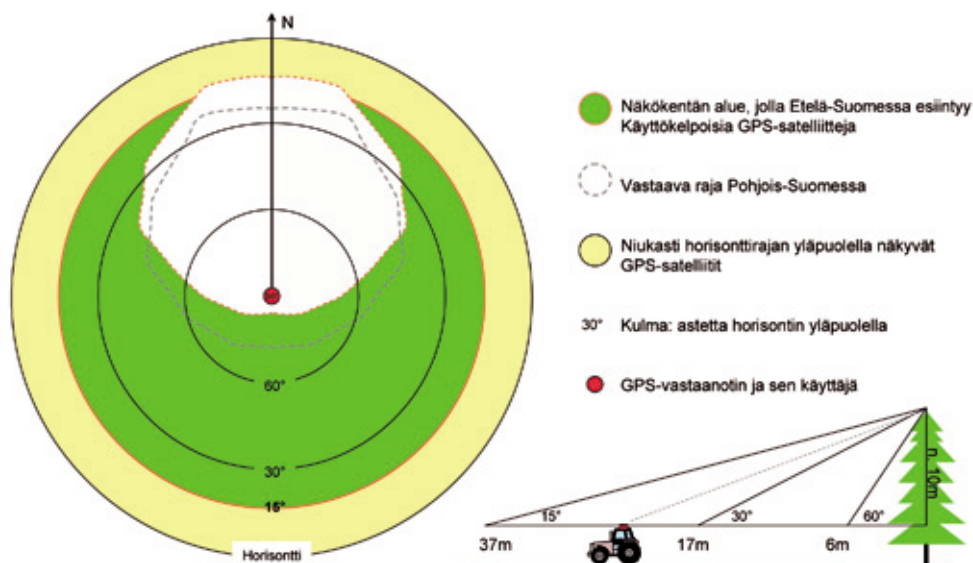
Taulukko 1. Tyypillisiä GPS-korjauksia

Korjaus	Tarkkuus	Esimerkkejä korjauspalvelusta	Huomioitavaa
GPS	15 m		Halpa mutta epätarkka
EGNOS	3 m - 5 m	EGNOS	Korjaus ei aina saatavilla
DGPS	1 m - 5 m	Fokus, Merenkulkulaitos, Evo	Vuotuiset kustannukset
WA DGPS ym.	10 cm - 1 m	Starfire, OmniSTAR, DGPS-VRS	Vuotuiset kustannukset
RTK	<5 cm	VRS, oma tukiasema	Kallis

### 3.1.3. Paikannusolosuhteet

Yksittäiseltä GPS-satelliitilta saadaan tarkin tieto, kun satelliitti on suoraan mittaajan yläpuolella. Tällöin etäisyys satelliittiin on pienin ja ilmakehän vaikutus vähäisin. Myöskään ympäristön esteet, kuten puusto ja ympäröivät rakennukset eivät haittaa. Mittaustavasta riippuen yleensä 10 - 20 astetta matalammalla horisontin yllä näkyvät satelliitit jätetään huomioitta, sillä silloin ilmakehän vaikutus etäisyysvirheeseen on jo liian suuri. Varsinaisen GPS-mittauksen kannalta on kuitenkin suotuisinta, että signaali saadaan mahdollisimman hajallaan olevilta GPS-satelliiteilta. Tätä voidaan havainnollistaa yksinkertaisesti. Jos piirretään kaksi ympyrää, jotka leikkaavat toisensa, niin ympyröiden yhteinen alue on sitä pienempi, mitä kauempana ympyröiden keskipisteet ovat toisistaan. Ympyröiden keskipisteet ovat satelliitteja, ympyrän kaari on havaittu etäisyys satelliittiin ja ympyröiden yhteinen alue on näiden kahden satelliitin avulla havaittu epätarkka sijaintimme.

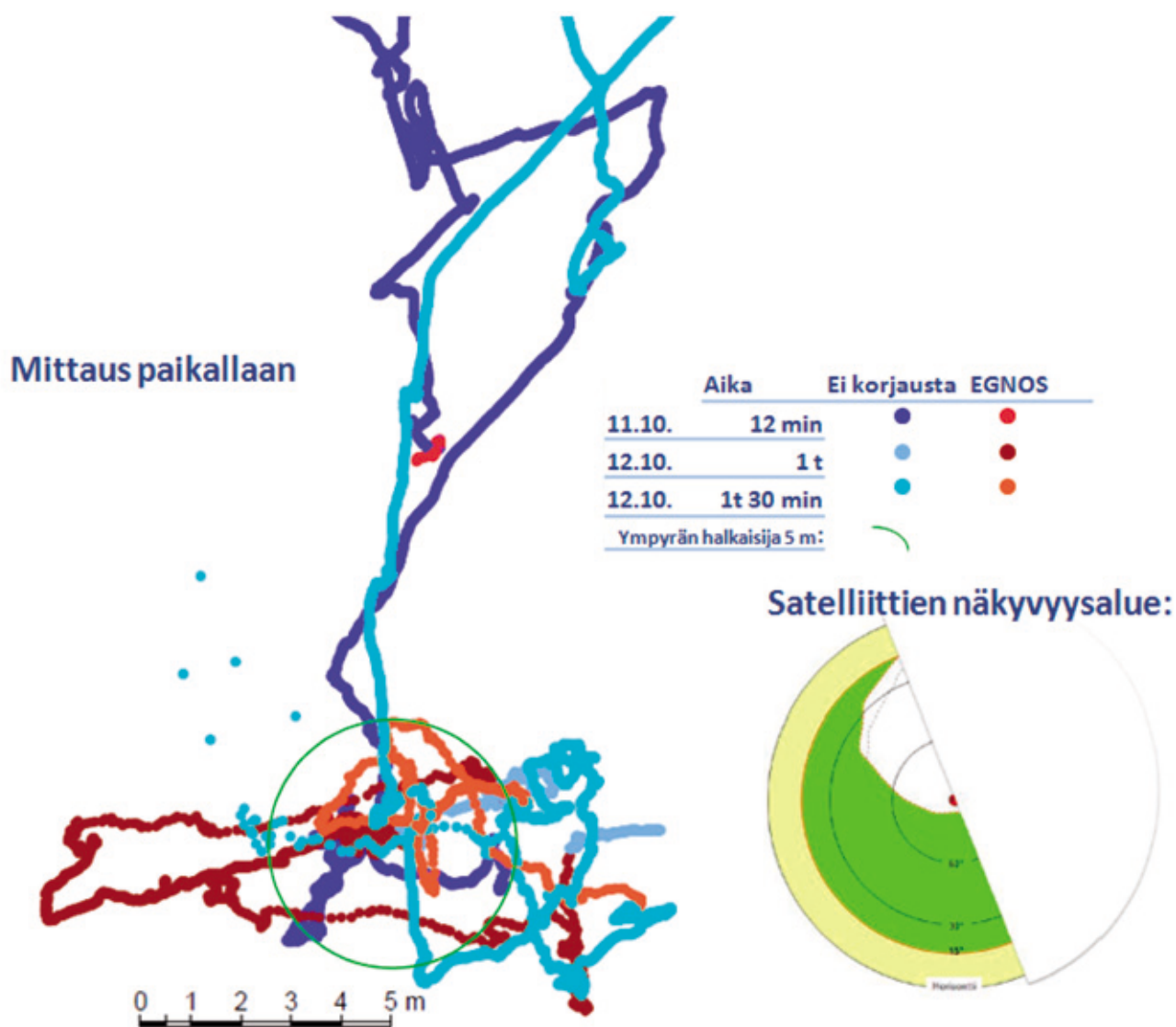
Koko Suomi sijaitsee niin pohjoisessa, että meillä GPS-satelliitteja ei ole suoraan yläpuolellamme (kuva 11). GLONASS-satelliitteja esiintyy vielä miltei Oulun tasolla suoraan pään yläpuolella. GPS ja Galileo esiintyvät pohjoisimmillaan suoraan pään yläpuolella vain noin Kööpenhaminan tienoilla. Toisaalta pohjoisesta sijainnista johtuen Suomessa on mahdollista nähdä GPS-satelliitteja jokaisessa ilmansuunnassa horisontin yläpuolella. Valitettavasti pohjoisessa näkyvät (Kanadan yläpuolella olevat) satelliitit ovat käytännössä niin matalalla, ettei niitä juurikaan voida hyödyntää.



Kuva 11. GPS-satelliittien näkyvyys Suomessa.

Vaikka GPS-vastaanottimien herkkyys on viime vuosina parantunut, on varsinkin riittävän hyvän signaalin saaminen katveisilla alueilla vielä varsin epävarmaa. EGNOS-satelliitit sijaitsevat noin 36 000 km korkeudessa päiväntasaajan yläpuolella ja näkyvät Keski-Euroopassa noin 30 asteen kulmassa. Suomessa tilanne on vielä huonompi ja EGNOS-korjauksen hyödyntäminen vaatii usein vähintäänkin kohtuullisen näkymän eteläiselle taivaalle.

Kuvassa 12 on esitetty edullisen EGNOS-vastaanottimen paikannustuloksia paikallaan mittaessa siten, että liki puolet taivaasta on ollut katveessa. Kun korjausviestiä ei ole saatu, on sijainti hetkellisesti saattanut ajautua jopa 20 metrin päähän. EGNOS-korjauksenkin kanssa eri toistokerroilla sijainti on saattanut siirtyä kymmenkunta metriä.



Kuva 12. Paikallaan suoritettuja mittauksia EGNOS-vastaanottimella.



### 3.1.4. Koordinaattijärjestelmät

Täsmäviljelyssä voi tyypillisesti törmätä käyttökohteesta riippuen kahteen erityyppiseen koordinaattijärjestelmään. Toiset koordinaatit on ilmaistu metreinä tietystä pisteestä, kuten peruskarttojen KKJ- ja YKJ-koordinaatit. Toinen esitystapa on asteina kuten GPS-koordinaatit (WGS-84). Esimerkiksi itäinen pituusaste (Long) ilmaisee tarkastelupisteen ja päiväntasaajan välisen kulman maan keskipisteessä. WGS-koordinaatit esitetään joskus asteina ja niiden kymmenyksinä (60.422919 N) sekä joskus esimerkiksi asteina, minuutteina ja sekunteina kymmenyksineen (60° 25' 22.51"). Koordinaattimuunnokset ja useiden eri koordinaattijärjestelmien käyttäminen saattavat aiheuttaa lisää epätarkkuuksia.

Lisätietoja koordinaatistoista:

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Koordinaattijärjestelmä>

<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/koordinaatti-korkeusjarjestelmat>

<http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/geodocs/kkjgps.htm>

Koordinaattimuunnosohjelma:

<http://coordtrans.fgi.fi/>

## 4. Toteutustekniikka

### 4.1. Tiedonkeruu

Pellon olosuhteista kerätään tietoa viljelyn suunnittelun tarpeisiin sekä palautteen saamiseksi tehtyjen viljelytoimien onnistumisesta. Käytettyjä menetelminä ovat kaukokartoitus sekä aineiston keruu maastossa.

#### 4.1.1. Kaukokartoitus

Täsmäviljelyn suunnitteluun tarvittavaa paikkatietoa voidaan kerätä kaukokartoitusmenetelmin kuten ilmakuvauksella (kuvat 13 ja 14), laserkeilauksella, satelliittikuvoin tai tutkakuvauksella (kuva 15). Kaukokartoitusmateriaali korjataan ja oikaistaan aina käytettävään karttakoordinaatistoon. Ilmakuvien osalta puhutaan tässä tapauksessa ortokuvauksesta. Usein käytetään myös korkeusmallia apuna. Kaukokartoitusaineistojen tulkintaan on kehitetty erilaisia analyysimenetelmiä, kuten luokitteluja erilaisten kasvien, satomäärien ja maalajien mukaan. Tuotettua aineistoa voidaan hyödyntää GIS-laskennassa erilaisten laskentamallien, kuten lannoitustarvelaskelmien lähtöarvoina.





Kuva 13. Hovin alueen ortoilmakuva kesällä 2010 lennokista kuvattuna. Ilmakuvauksen soveltamista täsmäviljelyyn parantaa yleistynyt lennökkikuvauus, joka voidaan suorittaa täsmäviljelymenetelmän kannalta haluttuina ajankohtina ja verraten edullisin kustannuksin. Yksi kuvauslento pystyy kattamaan riittävän laajan alueen. Kuva: PEnengineering Oy



Kuva 14. Matalalta suoritettujen lennökkikuvauksien kuvat ovat hyvin yksityiskohtaisia ja niistä voidaan laskea tarkka 3-ulotteinen maanpinnan malli eri sovelluksia silmällä pitäen. Kuva on suurennettu osa edellisestä kuvasta.

Tyypillinen kaukokartoitusaineiston hyödyntämistapa maataloudessa on pellon vihermassan määrittäminen ilmakuvilta. Tämän tiedon avulla tiedetään, missä osissa peltoa kasvusto on suhteellisesti runsaampaa. Vihermassan määrittämisessä voidaan käyttää esimerkiksi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) -laskentamenetelmää. Menetelmässä verrataan kohteen heijastaman punaisen valon sekä lähi-infrapunan aallonpituusalueiden heijastusmäärää. NDVI:n mittaukseen on myös traktoriin asennettavia tai käsikäyttöisiä automaattisia mittausmenetelmiä.

Muokatun maan maalajivaihteluita voidaan kartoittaa näkyvän valon aallonpituusalueilla (n. 400 - 780 nm) ja maan pinnan kosteuseroja infrapuna-alueella kerätyistä ilmakuvista.

Kasvien kuivuusstressiä taas voidaan kartoittaa punaisella aallonpituusalueella (n. 690 - 740 nm) kerätyllä datalla.

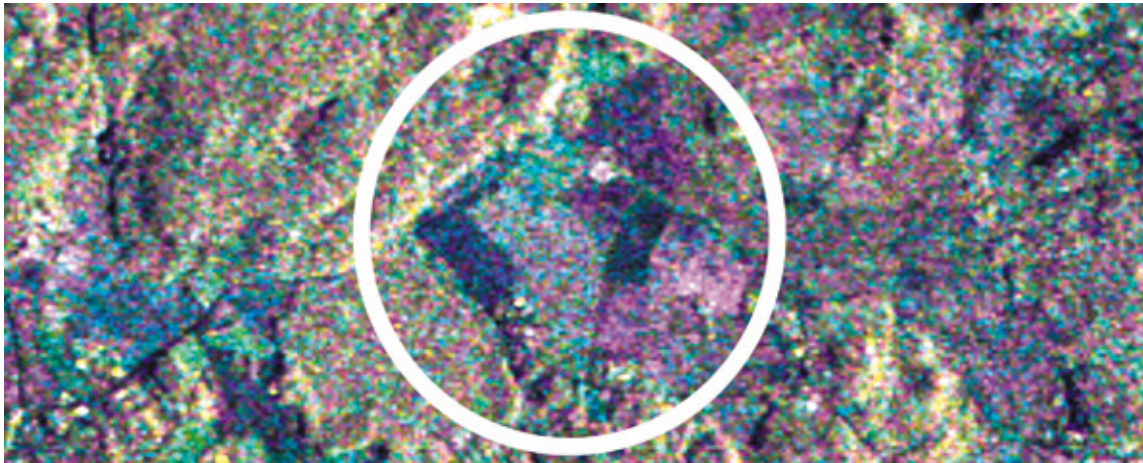
Lisätietoa kasvuston heijastuksesta eri aallonpituuksilla:

<http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/images/reflect2.gif>

[http://www.emeraldinsight.com/content\\_images/fig/1270810406008.png](http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/1270810406008.png)

Myös satelliittikuvauksen eri tekniikat ovat tulossa maatalouden käyttöön. Satelliittikuvauksen etuina voivat olla kuvien helppo saatavuus, kuvien saatavuus eri ajanjaksoilta sekä sellaiset kuvaustekniikat, joita pilvipeite ei häiritse.

Kuvassa 15 on yhdistetty SAR-tutkakuva Hovin peltujen alueelta kesältä 2009. Kuvaan on yhdistetty kokonaistakaisinsironta 10.6.2009 (punainen), intensiteetin keskihajonta (vihreä), sekä kokonaistakaisinsironta 28.7.2009 (sininen). Kuvalta on havaittavissa eroavaisuuksia varsinkin eri peltolohkojen välillä, mutta peltolohkojen sisäisen vaihtelun ja kuvien kohinan erottaminen on vielä hankalaa.



Kuva 15. Yhdistetty SAR-tutkakuva Hovista (valkoinen ympyrä) vuonna 2009. Kuva: Mika Karjalainen, FGI, RADARSAT-2 Data and Products © MacDONALD, DETTWILER AND ASSOCIATES LTD. All Rights Reserved. RADARSAT is an official mark of the Canadian Space Agency.

Google Maps (<http://maps.google.com/>) tarjoaa jo varsin tarkkoja satelliittikuvia useilta alueilta näkyvän valon aallonpituusalueilta. Mikäli omat pellot osuvat tarkoilte kuvilla ja satelliittikuvan kuvausajankohta on otollinen, voi kuka vain tarkastella peltolohkonsa vaihtelevuutta. Apuna voi käyttää myös erilaisia kuvankäsittelyohjelmia (<http://www.download.fi/tyopoyta/kuvankasittely/>).

#### 4.1.2. Mittaus maastossa

Kerätessä tietoa maastossa tiedonkeruujärjestelmässä on mittausanturi ja siihen liitetty

paikannuslaite. Esimerkkeinä tällaisesta tiedonkeruusta ovat työkonien mittausjärjestelmät, kuten leikkuupuimureiden satokartoitus sekä kylvö- ja muokkauskoneiden työsyvyyden mittaus, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden annostelun mittaaminen tai pellon korkeusprofiilin kartoitus tarkalla satelliittipaikannuksella.

Työkonien panosten annostelua mitataan useimmiten rekisteröimällä toimielinten hetkellistä asentoa tyypillisesti erilaisilla potentiometreillä sekä pulssi-, voima- että paineantureilla. Kaikkeen mittausdataan liitetään GPS-vastaanottimelta saatava paikkatieto.

Kaikkia haluttuja asioita ei voida mitata suoraan kohteesta mukana kuljetettavilla mittausantureilla (online), vaan toisinaan täytyy turvautua pelkästään näytteen ottamiseen kohteesta ja näytteenottoaikan määrittämiseen. Tällöin itse näytteen sisältö mitataan myöhemmin (offline) vaikkapa laboratorioissa. Tästä ovat esimerkkinä maan viljavuustietojen kartoitus paikannettujen maanäyteanalyysien avulla (kuva 16) tai sadon ravinnepitoisuusnäytteet.



Kuva 16. GPS-paikannuksella varustettu Viljavuuspalvelu Oy:n viljavuusnäytteiden ottolaite. Laite koostuu hydraulisesta maanäytekairasta, DGPS:stä, tietokoneesta sekä GSM-modeemista. Näytteenottosuunnitelma voidaan tehdä Viljavuuspalvelun verkkopalvelussa ([www.tilauslaari.fi](http://www.tilauslaari.fi)), jossa myös näytekoordinaatit saadaan VIPU-kartalle. Kuva: Viljavuuspalvelu Oy

## 4.2. Viljelytoimenpiteet ja työkonetekniikka

Markkinoilla olevat, voidaan jo sanoa perinteiset, työkonien täsmäviljelylaitteistot käsittävät neljä perusosaa: 1) tehtäväohjain, jossa on usein käyttöliittymä, 2) paikannuslaite, 3) säätöyksikkö sekä 4) ajonaikana säätyvät laitteet itse koneessa. Nämä ovat myös lisäkustannusten aiheuttajat verrattuna tavanomaiseen viljelytekniikkaan. Mikäli täsmäsäätö toteutetaan online-mittauksien perusteella, tulevat päälle vielä sensorikustannukset. Lisäksi tarvitaan tietokoneohjelmisto, jolla suunnitellaan viljelytehtävät ja analysoidaan toteutuma, sekä tiedonsiirtomenetelmä suunnittelun ja työkonien väliin. Usein tiedonsiirtovälineenä on muistikortti tai USB-muisti.

Markkinoilla on tarjolla teknisiä sovelluksia, joissa hyödynnetään liikuteltavaa monikäyttöistä kämmentietokonetta tai tablet-PC:tä sekä viljelysuunnitteluohjelmiston kämmentietokoneeseen sovitettua moduulia osana täsmäviljelylaitteistoa. Kämmentietokoneen käytöllä saavutetaan kustannustehokkuutta. Samaa tietokonetta voidaan käyttää viljelysuunnitteluohjelmiston "mobiilimoduulin" kanssa täsmäsäätimen ohjaamisen lisäksi

maastotiedonkeruussa sekä viljelijän henkilökohtaisena muistiinpanovälineenä, kalenterina ja taskussa mukana kulkevana tietokoneena.

Täsmäviljelyjärjestelmiin voidaan sisällyttää pitkälle vietyä automatiikkaa huolehtimaan paitsi viljelypanosten ajosuuntaisesta paikkakohtaisesta, myös työlevydensuuntaisesta säädöstä, ajotarkkuudesta, ajoreittien optimoinnista sekä tietyistä työkoneen hallintatoimista. Toteutuneen viljelytoimenpiteen ja työtavan dokumentointi avaa mahdollisuuksia analysoida työprosesseja ja optimoida niitä tehokkaammiksi. Pitkälle viety automaatio luo uusia haasteita kuljettajan tilannetietoisuudelle ja koneiden käytön turvallisuudelle. Työkoneneiden käyttöliittymien käytettävyyteen on kiinnitettävä paljon huomiota.

Tietomäärät kasvavat täsmäviljelyssä moninkertaisiksi ja paikkatietokantajärjestelmien käyttöönotto on ehdoton edellytys. Jo nyt on nähtävissä, että täsmäviljelyn suunnittelu- ja järjestelmät alkavat muuttua pelkistä karttaohjelmista paikkatietokantapohjaisiksi ohjelmiksi. Täsmäviljelyjärjestelmien teknisen tuen järjestäminen käyttäjille on haasteellista. Suurien etäisyyksien ja harvan asutuksen vuoksi Suomessa nopean ja asiantuntevan teknisen tuen järjestäminen on vaikeaa. Lisäksi eri täsmäviljelyjärjestelmät ovat ns. suljettuja järjestelmiä, jolloin jokaisella järjestelmällä on oma huolto- ja tukihenkilöstönsä. Täsmäviljelyjärjestelmien käyttäjien tämän hetkisen harvalukuisuuden vuoksi kokonaisvaltaista kotimaista tukea ei ole juurikaan saatavilla.

#### **4.2.1. Muokkaus**

Markkinoilta on saatavissa järjestelmiä, jotka kertovat kuljettajalle työnaikaisen muokkaussyvyyden. Tiedon perusteella kuljettajan on mahdollista säätää työsyvyyttä ajonaikana haluttuun asetusarvoon manuaalisesti. Automaattiset työsyvyyden säätöjärjestelmät pyrkivät pitämään halutun työsyvyyden ultraääniantureiden tai mekaanisten, esimerkiksi potentiometrillä varustettujen asentoantureiden mittauksiin perustuen. Markkinoilla on myös traktorin pyörien luistoon perustuvia työsyvyyden säätöjärjestelmiä, joissa muokkauskoneen työsyvyyttä pienennetään, jos luisto ylittää kuljettajan asettaman raja-arvon.

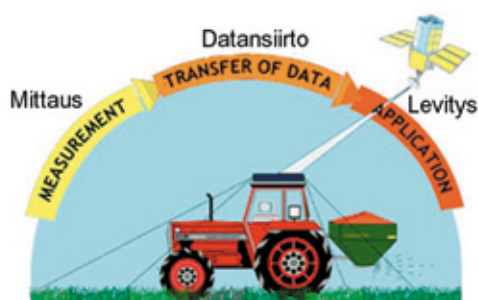
Yksi muokkaustekniikan tulevaisuuden haaste on kehittää mittausmenetelmiä ja tietomalleja, joiden perusteella optimaalinen tavoitetyösyvyys tai -työjälki lohkon eri kohdissa olisi määritettävissä. Kehityskohteina voisi olla vaikka muokkainten työsyvyyden säätö maan kosteuden perusteella. Seuraamalla työjäljen laatua konenäön tai laserkeilauksen avulla, voidaan jyrsinmuokkauksen intensiteettiä säätää muuttamalla traktorijyrsinyhdistelmän ajonopeutta.

#### **4.2.2. Täydennyslannoitus**

Muulla maailmassa yleistä täsmäpintalannoitusta voidaan käyttää meillä Suomessa täy-



dennyslannoituksen yhteydessä esimerkiksi haluttaessa nostaa leipävehnän tai entsyymimallasohran valkuaispitoisuutta. Kuvassa 17 on esitetty NDVI-menetelmään (Yara N-sensori) perustuvan automaattisen täsmälannoituksen periaatekuva. Siinä traktorin katolle asennetut NDVI-sensorit aistivat kasvuston vihermassan määrää ja vihreän värin sävyä traktorin edestä. Työkoneen liikkua eteenpäin järjestelmä laskee mallinnukseen perustuen tarvittavan typpilannoitteen annosmäärän. Kun työkoneyhdistelmä on edennyt siten, että levitettävä lannoite työkoneyhdistelmän perässä osuu mitattuun kasvuston kohtaan, järjestelmä on säätänyt lannoitteen annostelun halutuksi. Laitteistoa on mahdollista käyttää myös siten, että kasvuston mittausta ja lannoitteen annostelua tehdään eri ajokerroilla, jolloin vihermassakartta ja täsmälannoitus suunnitellaan kerätystä maastodatasta toimistossa erillisellä ohjelmistolla.



Kuva 17. Yara N Sensor -laitteen NDVI-menetelmään perustuvan viljakasvuston typpilannoituksen automaattisen täsmälevityslaitteiston toimintaperiaate. Oikealla valokuva omalla valolähteellä varustetusta työkoneyhdistelmästä, joka soveltuu ympärivuorokautiseen käyttöön. Laitteistoja on saatavissa maassamme, mutta järjestelmän lopullinen kalibrointi suomen olosuhteisiin tapahtuu vuoden 2011 aikana. Kuva: Yara Suomi Oy

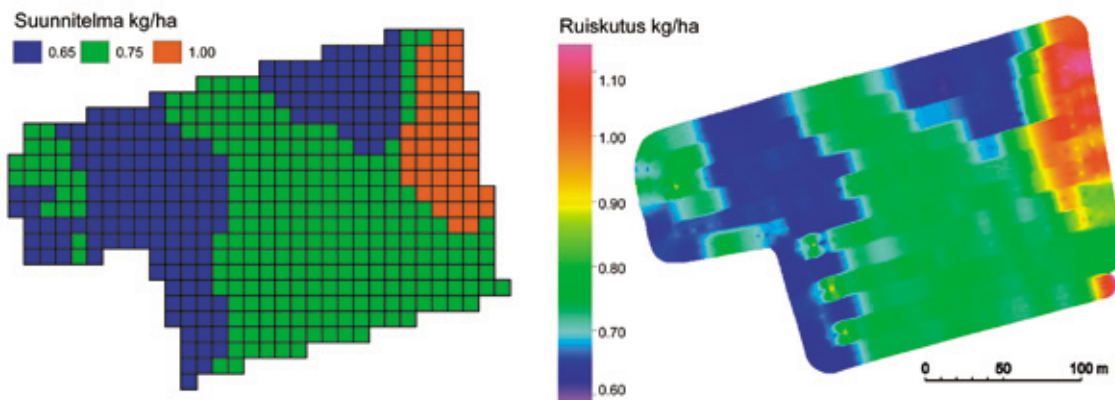
#### 4.2.3. Kasvinsuojeluruiskutus

Kasvinsuojeluaineiden käyttöä on mahdollista tarkentaa kasvuston ruiskutushetken tilan mukaan. Kasvitautilien torjunnassa yhtenä vaihtoehtona on ruiskuttaa tautiainetta kasvuston biomassan mukaan – enemmän tehoainetta sinne, missä on enemmän kasvustoa. Kasvuston biomassan kartoitukseen voidaan käyttää NDVI-mittaukseen perustuvaa menetelmää joko kaukokartoituksena tai työkoneeseen asennetuilla sensoreilla. Kasvuston suhteellisen biomassan mittaamiseen on kehitetty myös työkoneyhdistelmän eteen kiinnitettävä ns. heilurisensori (kuva 18). Kasvustossa ajettaessa heilurin kulma muuttuu kasvustomassan suhteessa, jolloin heilurin kulma rekisteröidään.



Kuva 18. Heilurisensori rekisteröi heilurin kulman muutoksen suhteessa kasvuston määrään. Kuva: Ehlerl ym. 2003, kaupallinen versio: Muller Elektronik, <http://www.mueller-elektronik.de/en/index.php?a=50>

Kuvassa 19 on esitetty vasemmalla vihermassakartan perusteella tehty tautiaineen ruiskutussuunnitelma, jossa eri vyöhykkeille suunniteltu annosmäärä ilmoitetaan suhteellisenä osuutena täydestä annoksesta. Täyden annoksen tehoainemäärä riippuu ruiskutusajankohdasta suhteessa kasvuston kehitysvaiheeseen sekä ruiskutusolosuhteista. Oikealla on täsmäviljelylaitteistolla dokumentoitu toteutettu ruiskutus.



Kuva 19. Vasemmalla kasvuston vihermassakartoituksen perusteella laadittu tautiaineen ruiskutussuunnitelma (Task) täsmäviljelylaitteistolle ja oikealla dokumentoitu ruiskutuksen toteutus.

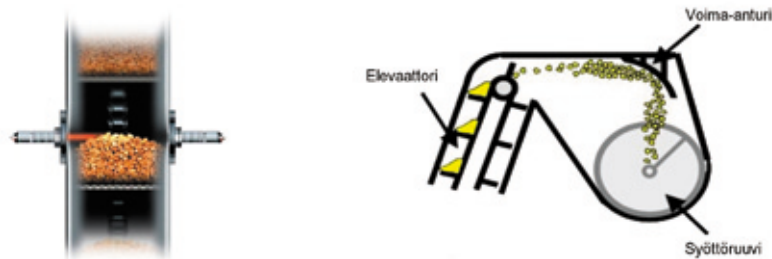
Kasvinsuojeluaineiden käyttöä voidaan vähentää merkittävästi myös rikkakasviruiskutuksissa, jos tehoaine levitetään vain ruiskutettavaan kohteeseen. Tällä hetkellä markkinoita löytyy tekniikkaa, joka pystyy havaitsemaan rikkakasvipesäkkeet (WeedSeeker®) ajon aikana esimerkiksi sänki- tai kesantopellolta. Tekniikka perustuu lehtivihreän mittaukseen. Mitta-anturi sijoitetaan kasvinsuojeluruiskun suuttimen eteen. Kun sensori havaitsee pellosta vihreän alue, järjestelmä avaa yksittäisen suuttimen, jolloin ruiskutusneste saadaan ruiskutuskohteeseen. Toinen vaihtoehto on määrittää ruiskutettavat alueet etukäteen esimerkiksi ilmakuvan perusteella. Tällöin työkoneyhdistelmä käskyttää ruiskun lohkoja tai yksittäisiä suuttimia tavoitekartan perusteella. Ilmakuvaus soveltuu rikkakasvipesäkkeiden kartoittamiseen myös oraalla olevasta kasvustosta.

Markkinoilla on myös kasvinsuojeluruiskuja, jotka tunnistavat jo ruiskutetut alueet pellolla ja esimerkiksi kiilaavissa päisteissä ja päistekäänöksissä sulkevat automaattisesti suuttimet jo ruiskutetun alueen yläpuolella. Näin vältetään päällekkäin ruiskuttamiselta, mikä vähentää kasvinsuojeluaineiden menekkiä ja helpottaa kuljettajan työskentelyä hankalissa päisteissä.

#### 4.2.4. Sadonkorjuu

Tieto sadon paikkakohtaisesta määrästä ja laadusta on täsmäviljelyn perusta. Sato on viljelyprosessin lopputulos, joten satoa arvioimalla voidaan arvioida koko viljelyn onnistumista. Sadon määrän lisäksi on usein syytä kerätä tieto myös sadon paikkakohtaisesta laadusta.

Leikkuupuimureiden sadonmittausjärjestelmiä on ollut saatavilla jo reilut 15 vuotta. Markkinoilla olevat sadonmittausanturit mittaavat joko viljan tilavuusvirtaa tai massavirtaa (kuva 20). Tilavuusvirtamittaus muunnetaan massavirraksi määrittämällä puitavan viljan tilavuuspaino ja syöttämällä lukema järjestelmään aina esimerkiksi viljalajin tai puitavan pellon vaihtuessa. Massavirran lisäksi puimurissa mitataan ajonopeus ja leikkuuleveys sekä rekisteröidään leikkuupöydän asento (ylhäällä/alhaalla). Näistä tekijöistä päästään laskemaan puidun sadon määrä pinta-alaa kohden.



Kuva 20. Vasemmalla valokennoanturi puimurin viljaelevaattorilla. Virtapiiriin katkeamisen pituus rekisteröidään, mistä päätellään viljakeon tilavuus elevaattorilla. Kuva: Claas, [http://www.claas.com/omaha/generator/cl-pw/us/products/combines-rotary/lexion-590-595-r/yield-mapping/yield-sensor/start.lang=en\\_US-OMAHA.html](http://www.claas.com/omaha/generator/cl-pw/us/products/combines-rotary/lexion-590-595-r/yield-mapping/yield-sensor/start.lang=en_US-OMAHA.html)

Oikealla voimalevyanturi puimurin viljaelevaattorin yläpäässä rekisteröi viljavirran hetkellistä massaa (Schearer ym. 1999). Anturille kohdistuva voima =  $k \cdot \text{massavirta} \cdot \text{nopeus}$ .

Viljan laadun mittaukseen puimurissa on kehitetty NIT (Near Infrared Transmittance) -tekniikkaan perustuva kaupallinen mittalaite (Zeltex AccuHarvest). Laite ottaa näytteen puimurin elevaattorin viljavirrasta, mittaa ja palauttaa mitatun näytteen takaisin elevaattoriin. Laite lähettää viljanäytteen läpi lähi-infrapuna-alueen aaltoja ja päättelee viljanäytteeseen imeytyneistä aallonpituuksista ja läpipäässeiden aallonpituuksien energioista, kuinka paljon mitattavaa laatua näytteessä on. Tyypillisesti NIT-tekniikalla voidaan mitata biomassasta kosteutta, proteiinia, tärkkelystä ja öljypitoisuutta. Käytännössä tällä hetkellä kaupallisesti saatavilla olevien laitteiden kalibroiminen riittävän tarkaksi Suomen puintioloihin on osoittautunut haasteelliseksi, mutta tekniikassa on silti potentiaalia, mikäli sitä kehitettäisi edelleen.

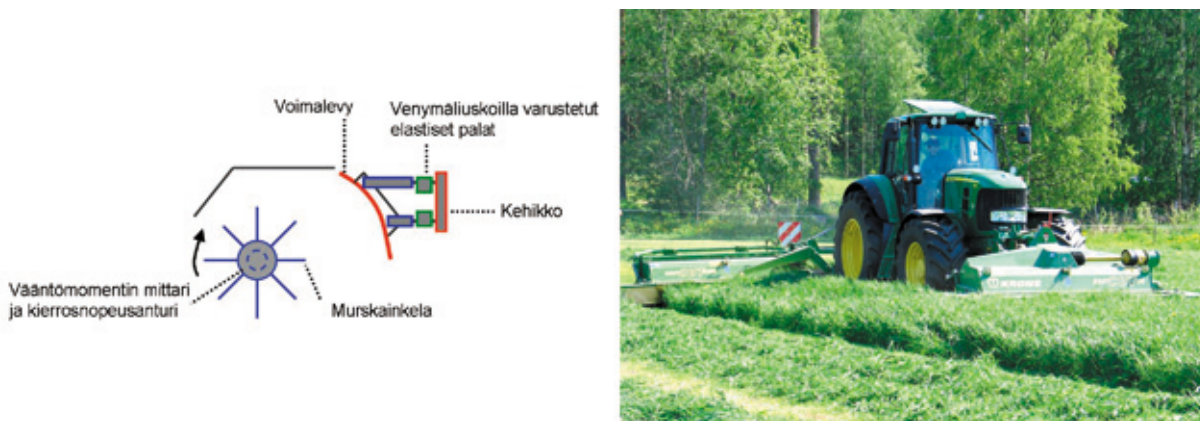
Leikkuupuimureiden sadonmittausjärjestelmät ovat yleensä niin pitkälle automatisoituja, että ne eivät juurikaan vaikuta itse työskentelyyn korjuukoneen ajon aikana. Erityistä huomiota vaativat tehtävän (Task) valmistelu sadonmittausjärjestelmälle sekä tallennetun sätotiedon siirtäminen työkoneltä maatilan tiedonhallintajärjestelmiin. Nämä ovat toimenpiteet, jotka koskevat kaikkia täsmäviljelytoimia.



Lisää tietoa esimerkiksi seuraavista nettilinkeistä:

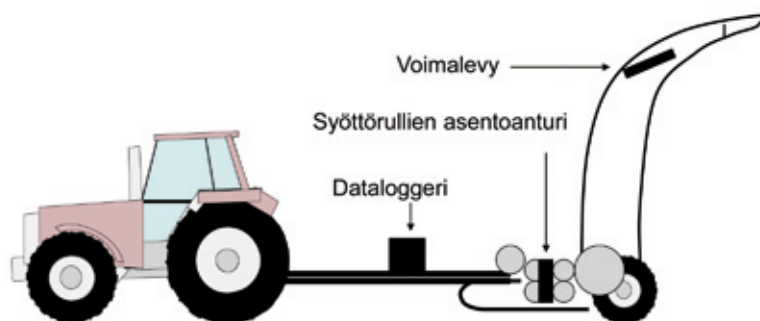
<http://www.agri.fi/tuotteet/satokartoitus/>  
<http://www.tak-sai.com/info/satokartoitus/rdsceres>  
<http://www.agcotechnologies.com/fi/fieldstar.htm>  
<http://www.zeltex.com/accuharvest>

Nurmen sadonmittaukseen on myös menetelmiä. Yksi tapa on mitata nurmisato niiton yhteydessä, jolloin tunnustellaan niittomurskaimen vääntömomenttia ja roottorin kierros- lukua sekä murskaimen taakseen heittämän nurmimassan aiheuttamaa painetta niitto- murskaimen taakse asetetulta voimalevyanturilta (kuva 21).



Kuva 21. Niittomurskaimen mittausjärjestelyt nurmisadon mittaamiseksi niiton yhteydessä (Kumhala & Prosek 2007). Kuva oikealla: Antti Suokannas

Tarkkuussilppurissa on puolestaan kokeiltu kuvan 22 mukaista mittausjärjestelyä. Siinä syöttörullien keskinäisen välimatkan mittaamisella saadaan käsitys sadon määrästä, mitä tietoa täydennetään silppurin torveen asennetulla voimalevyanturilla. Muun muassa John Deere on kehittänyt NIR (Near Infrared Reflectance) menetelmään perustuvan, silppurin torveen asennettavan kosteusmittarin, jolla saadaan kartoitettua tarkkaan kuiva-ainesato. Tämä kosteusmittari toimii vain kyseisen konemerkin tiedonkeruujärjestelmissä. Korjattavan biomassan paikkakohtaista määrää voidaan rekisteröidä myös vaakasensoreilla, kosteusmittauksella ja GPS:llä varustetulla noukivaunulla (kuva 23).



Kuva 22. Nurmisadon mittausjärjestelmä ajosilppuriin (Forristal & Keppel 2001).



Kuva 23. Vaaka-antureilla varustettu noukinvaunu sekä GPS:llä varustettu traktori. Kuva: MTT

Kuvien lähteitä:

Ehlert, D., Hammen, V. & Adamek, R. (2003). On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. *Precision Agriculture*, 4, 139 - 148.

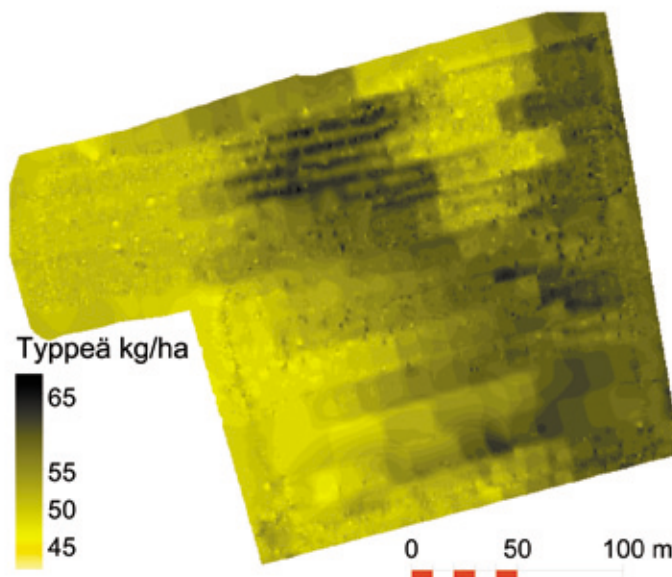
Kumhála F., Kroulík, M. & Prošek, V. (2007). Development and evaluation of forage yield measure sensors in a mowing-conditioning machine. *Computers and Electronics in Agriculture* 58:2, 154 - 163.

Forristal, P. D. & Keppel, D. (2001). The application of harvester-mounted forage yield sensing devices. <http://www.teagasc.ie/research/reports/crops/4413/eopr-4413.pdf>.

Shearer, S.A., Fulton, J.P., McNeill, S.G., Higgins, S.F. & Mueller, T.G. (1999). Elements of Precision Agriculture: Basics of Yield Monitor Installation and Operation. Univ. of Kentucky. [http://www.bae.uky.edu/precag/PrecisionAg/Exten\\_pubs/pa1.pdf](http://www.bae.uky.edu/precag/PrecisionAg/Exten_pubs/pa1.pdf).

#### 4.2.5. Datasta kartoiksi

Tiedonkeruun tuloksena on yleensä saatu joku määrä mittauspisteitä kartalla. Yksinkertaisimmillaan pisteiden sisältämä tieto voidaan esittää siten, että jokaisen pisteen viereen sijoitetaan mittauksen lukuarvo tai lukuarvoa vastaava väri. Tällaisella aineistolla ei kuitenkaan voida tehdä kovin kattavia analyyseja, vaan pitää vähintäänkin arvioida mittapisteiden väliin jääville alueille joku arvo. Tätä kutsutaan myös interpoloinniksi. Tällöin kartoista saadaan jatkuvia, jolloin eri aineistojen yhdistely ja vertailu tietojärjestelmissä on helpompaa. Kuvassa 24 on esimerkki kartasta, jossa on yhdistetty kylvölannoituksen yhteydessä annetun typpilannoituksen ja pintalevityksenä annetun täydennyslannoituksen dokumenttidata yhdeltä kasvukaudelta.



Kuva 24. Yhden kasvukauden aikana levitettyjen typpilannoite-erien summa.

Työkoneen tuottamalle mittausdatalle tehtävä lukuisa määrä eri toimenpiteitä ennen kuin haluttu kartta on valmis. Mittausdatasta täytyy yleensä suodattaa pois virheelliset mittaukset. Muun muassa sijaintitietoa voidaan käyttää hyväksi virheellisiä mittauksia etsittäessä. Mittaus- ja paikannuspaikka eli käytännössä anturi ja GPS eivät yleensä ole aivan samassa kohdassa työkoneessa, joten tämä virhe pitää korjata. Mittausarvo voi myös edustaa jotain muuta kuin pistemäistä aluetta, jolloin tämä alue on hyvä määrittää. Näiden toimenpiteiden jälkeen voidaan luoda varsinainen kartta, joka peittää koko kyseisen peltoalueen. Tämän jälkeenkin erilaisilla paikkatietoanalyysillä voidaan muokata luotua aineistoa ja ottaa huomioon muun muassa lannoituksen jakautumisen muuttuminen valumavesien mukaan.

Paikkatietojen käsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmilla voi yleensä tehdä näitä edellä mainittuja toimenpiteitä. Aineistojen suodatukset ja laskentatarpeet voivat olla kuitenkin hyvin laitekohtaisia, jolloin tarvitaan jonkinlainen linkki työkoneen anturivalmistajan ja aineiston käsittelyohjelman välillä.

Tyypillisenä esimerkkinä voidaan mainita puintidatan mallintaminen: puimurin satoanturi mittaa viljavirran määrää ajanhetkellä sekä kuinka suurta osaa leikkuupöydästä käytetään. Näiden tietojen perusteella lasketaan hetkellinen satomäärä. Juuri leikattu vilja ehtii kuitenkin vasta muutaman sekunnin kuluttua mittausantureille. Nämä sekunnit pitää huomioida määrän ja GPS-paikan yhdistämisessä. Kun pelto on puitu, on saaliina suuri määrä satopisteitä. Tämän jälkeen sopivalla ohjelmistolla voidaan suodattaa datasta liian suuret ja liian pienet satomäärät, joita on aiheutunut muun muassa päistekäännoton aikana sekä mittausvirheiden takia. Tämän jälkeen ohjelma voi automaattisesti interpoloida koko pellon kattavan rasterikartan satomäärästä.

### 4.3. Tarkat ajolinjat

Yksi potentiaalinen keino tehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamiseen on traktorin ajolinjojen tarkentaminen teknisten apuvälineiden avulla. Tarkan ohjaamisen avulla voidaan hyödyntää työkonteen leveys tarkasti ja asettaa traktorin työnopeus ja työkonteen työjälki optimaaliseksi, jolloin säästetään polttoainetta ja aikaa. Samalla tuotantopanosten menekit vähenevät, sillä päällekkäin ajo minimoituu ja koko pelto käsitellään tarkoituksenmukaisesti. Tarkoituksenmukainen peltoliikenne vähentää pellon turhaa tiivistämistä. Tarkoilla ajolinjoilla on myös huomattava vaikutus itse täsmäviljelyn onnistumiseen. Tarkan ohjauksen avulla mahdollistetaan suunnitellun täsmällisen määrän annostelu työlevyden suunnassa.



Kuva 25. Automaattiohjauksen avulla ajettuja suoria ajolinjoja. Kuva: MTT

Ajolinjojen tarkentamiseen on muutamia erilaisia vaihtoehtoja. Ura- tai vaahtomerkitsin antaa tarkan ohjeen ajolinjasta, mutta ne soveltuvat vain tiettyihin peltotöihin. Vaahtomerkitsin vaatii mukana kuljetettavan kuluvaan aineeseen, ja uramerkitsin on täysin työkonetekoinen ratkaisu.

Näiden lisäksi viime vuosina ovat kovasti tehneet tuloaan erilaiset GPS-paikannukseen perustuvat kuljettajan ajo-opastimet sekä automaattiohjausjärjestelmät. Ajo-opastin neuvoo kuljettajaa ohjaamaan traktoria pellon suorilla osuuksilla tarkkaan aiotun ajolinjan mukaisesti (kuva 25). Järjestelmä tekee reittisuunnitelman, jota kuljettaja koettaa parhaansa mukaan seurata. Järjestelmä neuvoo kuljettajaa vertaamalla reittisuunnitelmaa ja paikantamaansa sijaintia. Näitä järjestelmiä voidaan kutsua myös nimellä ohjausavustin tai



"lightbar", sillä kuljettajaa opastetaan useimmissa malleissa led-näytön avulla. Vaihtoehtona led-näytölle on kokonaan erillinen näyttö, jossa suunnitellulle ajosuunnalle opastetaan esimerkiksi nuolella tai näytöllä näytetään traktorin sijainti sekä tavoitteelliseen ajolinjan paikka. Graafinen opastus voidaan siis toteuttaa autonavigaattorin tapaan. Huonona puolesta ajo-opastimessa on se, että menetelmä vaatii jatkuvaa tarkkaa keskittymistä kuljettajalta. Tätä helpottaa yleensä kuljettajan järjestelmään tottuminen sekä opastimen ominaisuuksien säätäminen sopivaksi.

Mikäli ohjausavustin tekee myös ohjausliikkeet, on kyseessä automaattiohjausjärjestelmä. Tällöin kuljettajan navigointitarpeen väheneminen mahdollistaa peltotyöskentelyn entistä huonommassa näkyvyydessä ja vapauttaa kuljettajan resursseja työkoneen hallintaan. Automaattiohjausjärjestelmä havainnoi reaaliaikaisen traktorin tai työkoneen sijainnin sekä suunnan ja vertaa sitä suunniteltuun sijaintiin ja suuntaan. Tämän jälkeen järjestelmä pyrkii tekemään sellaiset ohjausliikkeet, että koneyhdistelmä pääsee suunnitellun mukaiseen tilaan. GPS-laitteen lisäksi toisilla menetelmillä mitataan usein traktorin tai työkoneen kallistelua ja tehdään korjauksia paikkaan sen mukaan. Tällä hetkellä valtaosassa markkinoilla olevissa järjestelmissä kuljettaja huolehtii traktorin käännökset päisteessä ja kytkee automaattiohjauksen päälle pellon yhtenäisille ajo-osuuksille. Aina tilanteen mukaan siis joko kuljettaja tai automaattiohjausjärjestelmä ohjaa traktoria. Järjestelmä kertoo traktoriin sijoitetun näyttöpäätteen avulla, missä kukin tavoitteellinen ajokaista kulkee. Kuljettaja voi lukittua näihin kaistoihin ja antaa automaattiohjauksen hoitaa ohjauksen aina pellonreunaan saakka. Päistekäännöksen aikana järjestelmän näyttö kertoo jälleen, mistä seuraava ajokaista alkaa. Automaattiohjaus siis huolehtii siitä, että pelto työstetään mahdollisimman tarkkaan niin, ettei mitään aluetta työstetä tarpeettomasti moneen kertaan eikä toisaalta jää tyhjiä alueita työlevyysväliin. Samalla kuljettaja voi siirtää huomiokykyään enemmän työkoneen hallintaan tai muihin oheistoimintoihin halliten kuitenkin yhä pellon tapahtumia. Automaattiohjausjärjestelmissä sekä opastavissa järjestelmissä kuljettaja saa yleensä päättää, missä järjestyksessä pellon ajolinjat ajetaan. Aina ei siis tarvitse ajaa vierekkäisiä ajolinjoja peräkkäin. Tämä helpottaa varsinkin työkoneyhdistelmien käsittelyä päisteissä. GPS-paikannuksen ja kallistelun korjauksen sijaan tai lisäksi lähinnä erilaisilla kameroilla, tutkilla tai laserilla voidaan tarkentaa sijaintia. Näillä apujärjestelmillä pyritään selvittämään työkoneen haluttu sijainti pellon pinnasta tai esimerkiksi puimattoman viljan reunasta.

#### **4.3.1. Ohjausavustimien tarkkuus**

Ajolinjojen tarkkuuteen vaikuttaa kolme päätekijää: reitinsuunnittelu, sijaintitieto sekä ohjausliikkeiden toteuttaminen. Reitinsuunnittelu ja sen sovittaminen monimutkaisille peltolohkoille voi olla haastavaa. Kaarevat ajolinjat aiheuttavat usein leveillä pelloilla jossain vaiheessa ongelmia. Pellosta voi jäädä kapea kaistale työstämättä tai reitinsuunnittelu ehdottaa liian jyrkkiä käännöksiä. Sijaintitiedon tarkkuus määräytyy paikannus- ja mittauslaitteiston yhdistelmän tarkkuuden perusteella. Automaattiohjausjärjestelmässä ohjausliikkeiden onnistuminen riippuu lähinnä järjestelmän toimintanopeudesta ja toimintatavasta. Järjestelmä voi pyrkiä aina välittömästi ajolinjalle tai pehmeämmin tähdäten reitille vasta

muutaman metrin päähän.

Käytännön testeissä yhden kuljettajan ajolinjojen tarkkuus 10 metrin työkoneella ilman apukeinoja oli keskimäärin noin 60 cm. Ohjausavustimen avulla tämä virhe puoliintui. Tarkimmilla automaattiohjausjärjestelmillä saavutettiin noin 10 cm tarkkuus vastaavissa olosuhteissa Suomessa.

### 4.3.2. Työn ja työtehtävän tarkkuus

Kaikkein tarkimmillaan työkone voisi työskennellä kasvikohtaisesti. Toistaiseksi käytännön ratkaisuissa tarkkuuteen vaikuttavat muun muassa seuraavat tekijät: paikannustarkkuus, työkoneen työleveys, työsuunnitelmassa käytettävän tiedon tarkkuus ja luotettavuus, työkoneen mekaniikan toiminta ja luotettavuus, järjestelmän viiveet ja kalibrointi, virheellisten mittausten suodatus sekä karttamallinnuksen tarkkuus.

## 5. Tulevaisuuden näkymiä

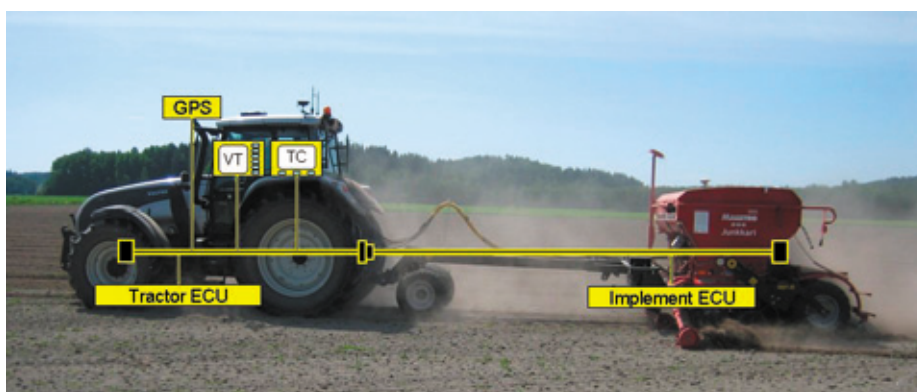
### 5.1. ISOBUS ja automaatio

Automaation luomiin tiedonsiirtohaasteisiin on kehitetty traktorin ja työkoneen välinen avoin tiedonsiirtostandardi ISO 11783. Työkoneita ja siihen liittyviä laitteita, jotka ovat virallisesti testattu ja ovat ISO 11783 yhteensopivia, voidaan markkinoida ISOBUS-tuotteina. Luettelo virallisista ISOBUS-testin läpäisseistä, eri työkoneisiin tarkoitetuista komponenteista löytyy linkistä [http://www.isobus.net/isobus\\_E/](http://www.isobus.net/isobus_E/).

Standardissa määritetään tiedonsiirron formaatit ja rajapinnat eri laitekomponenttien välille. Kuvassa 26 on esitetty ISO 11783 mukaiset traktori-työkoneyhdistelmän osat, jotka keskustelevat keskenään CAN (Controller Area Network) tekniikkaan perustuvan tietoväylän välityksellä. Standardin tavoitteena on saavuttaa kustannussäästöjä sekä parantaa työkoneiden käytettävyyttä. Kun työkone kytketään traktoriin, työkoneohjain (Implement ECU, Implement Electronic Control Unit tai Jobcomputer) lataa työkoneen käyttöliittymän traktorin hytissä olevaan virtuaaliterminaaliin (VT, Virtual Terminal, ISOBUS Terminal), joka on yhteinen käyttöliittymälaite kaikille ISOBUS koneille. Kun virtuaaliterminaali on valmiina traktorin ohjaamossa, ei kuljettajan enää tarvitse viedä erillisiä työkonekohtaisia hallintalaitteita traktoriin. Työkoneohjain sisältää myös työkoneita koskevat automaattiset ominaisuudet, kuten päisteautomaatiikan tai työkoneen kalibroinnin. Traktori lähettää ajonopeus-, voimanoton nopeus- ja nostolaitteen asentotiedot CAN-väylälle traktoriohjaimen avulla (Tractor ECU, Tractor Electronic Control Unit), joita työkoneen automaatiikka käyttää hyväkseen. ISOBUS järjestelmään on mahdollista liittää myös GPS-vastaanotin, jonka lähettämän paikkatiedon avulla paikkakohtainen panosten säätö on mahdollista toteuttaa.



ISOBUS-tehtäväohjain (TC, Task Controller) toimii tiedonsiirtolinkkinä työkoneyhdistelmän ja maatilantiedonhallinta järjestelmän välillä. Tehtäväohjain toimii järjestelmässä myös täsmäviljelyohjaimena, jolloin se käskyttää työkonetta tavoitekartan mukaisesti (offline-säätö). Maatilalla tehdyn suunnitelman eli TASK-tiedoston siirtäminen työkoneyhdistelmään on mahdollista toteuttaa joko muistitikulla tai langattomasti internetin välityksellä. Vastaavasti työnaikainen tiedonkeruu työtapatumasta on tehtäväohjaimen vastuulla. Tehtäväohjain kerää työkonteen muokkaavan paikkakohtaisen dokumenttitiedon ja työloputtua summatiedot esimerkiksi lannoitteiden kokonaiskäytöstä lohkolle. Dokumenttitiedosto on vastaavasti mahdollista siirtää maatilalle muistitikulla tai langattomasti internetin avulla.



Kuva 26. Traktorin ja työkonteen välinen avoin tiedonsiirtostandardi ISO 11783 (ISOBUS) ja siihen liittyvät peruskomponentit. Kuva: MTT

Tällä hetkellä markkinoilla on kohtuullisen hyvin saatavilla ”minimi”-ISOBUS-traktori-työkoneyhdistelmiä, jotka koostuvat traktorinohjaimesta (Tractor ECU), työkonetoimijasta (Implement ECU) sekä virtuaaliterminaalista (VT). Tehtäväohjainten tarjonta on kuitenkin tällä hetkellä huomattavasti niukempaa. Tämä on johtunut pääosin siitä, että standardi on ollut sen verran väljä, että eri valmistajat ovat onnistuneet tulkitsemaan sitä tietyin osin eri tavalla. Tässä yhteydessä erityisesti tehtäväohjaimen aito yhteensopivuus on kärsinyt. Tällä hetkellä kuitenkin kehitystyötä tehdään tehtävänhallintalaitteen ympärillä. Kun tehtäväohjainta koskeva standardin tulkinta muotoutuu yleiseksi käytännöksi, markkinoilla on saatavilla yhä enemmän eri valmistajien laitteistoja. Yleinen trendi maailmalla on, että ISOBUS tulee yleistymään voimakkaasti seuraavan kahden vuoden kuluessa.

Tulevaisuudessa ISOBUS-työkoneet tulevat hyödyntämään yhä enemmän traktorin resursseja. Traktorin ECU:t on jaettu kolmeen eri pääkategoriaan (Class). Kategorian jaottelu perustuu minimimäärään viestejä, jotka voidaan lähettää muille ISOBUS:iin liitetyille osille. Class 1 -kategoria käsittää viestit, joita ovat perustiedot traktorin valoista, ajonopeudesta, nostolaitteesta, voimanulosotosta ja erilaisista kieliparametreista. Class 2 -kategoriasa välillä lähetään Class 1 -viestien lisäksi ajan, päivämäärän, ajosuunnan, etäisyyden, kaikkien valojen sekä takanostolaitteen vetovastuksen viestit. Tämän hetkiset traktorit tukevat lähinnä Class 1 ja 2 -kategorioita. Class 3 -kategoriasa hyödyntää kaikkia Class 1 ja 2 -kategorioiden ominaisuuksia, joiden lisäksi traktori voi ottaa vastaan viestejä työkonteen ohjaimelta. Traktorin ECU:n ja työkonteen ECU:n välisen väljän avulla voidaan ohjata trak-

torin hydrauliiikkaa, nostolaitetta, voimanulosottoa tai ajonopeutta työkoneseen käskyjen perusteella.

Standardin määrittelemät Class 3 -kategorian ominaisuudet mahdollistavat hyvin pitkälle viedyn työkonemaailman ja yhä autonomisten ominaisuuksien tuonnin työkoneyhdistelmiin. Kasvinsuojeluruiskutuksessa ruiskutusnesteen annosmäärää ja pisarakokoa voidaan optimoida ruiskutuspaineen ja traktorin ajonopeuden automaattisen hallinnan avulla. Kylvölannoituksessa työsyvyysautomaatiikka voi halutessaan tilata traktorilta tarvittaessa hydrauliiikkaa, jotta haluttu työsyvyys saadaan toteutettua maalajien vaihdellessa. Toisaalta kylvösyvyyttä olisi mahdollista säätää ajonaikana reaaliaikaisen maan kosteusmittauksen perusteella, jolloin työsyvyysautomaatiikka käyttäisi hyväkseen maan kosteustietoa. Nurmenkorjuun työkoneyhdistelmissä noukkinvaunun automaatiikka voisi komentaa traktorin ajonopeutta, jotta rehumassanvirta sullojalle saataisiin mahdollisimman optimaaliseksi. Nykyisin vastaavat järjestelmät työkonissa edellyttävät joko jatkuvaa öljykiertoa työkoneseen kautta, tai työkonessa on oma voimanotolla pyöritettävä hydrauliiikkajärjestelmä.

Ennen kuin traktorivalmistaja tuovat markkinoille Class 3 -kategorian traktoreita, on turvallisuuteen liittyvät ongelmat ratkaistava. Ensimmäinen ongelma muodostuu siitä, miten vastuu jaetaan traktori- ja työkonemaailmien kesken. Ongelmallisinta on se, miten työkoneyhdistelmä otetaan turvallisesti ongelmatilanteessa hallintaan työkoneseen käskyttäessä traktorin hydrauliiikkaa tai vaikkapa nopeutta.

## 5.2. Tiedonhallintaa palveluna

Täsmäviljelyä voidaan toteuttaa monella eri tasolla ja täsmäviljelytoimenpiteet voivat olla moninaiset. Kaikki toimenpiteet perustuvat kuitenkin paikkatietoon, jonka käsittely vaatii erityisosaamista. Tiedonsiirto täsmäviljelylaitteistojen ja viljelysuunnitteluohjelmistojen välillä ei ole sujuvaa, varsinkin kun käytössä on monia eri järjestelmiä. Tarvitaan siis runsaasti erilaista tilanteeseen sovitettua erityisasiantuntemusta. Näköpiirissä onkin, että sitä mukaa, kun viljelytiedot ja viljelytietämys muunnetaan konekieliseksi, mahdollistavat uudet tieto- ja viestintäteknologiat viljelyn suunnittelun ja viljelyn vaatiman tiedonhallinnan ulkoistamisen maataloilta palveluperustaisesti tapahtuviksi. Samalla eri toimintojen tueksi kehitetään monipuolista tietämyksen mallintamiseen perustuvaa automaatiota.

Tulevaisuuden järjestelmän ytimenä on internet-palvelin, jonka kautta tietoa toimitetaan keskitettyyn maatalan tietokantaan ja haetaan sieltä (kuva 27). Suunnittelutiedot ovat saatavissa sieltä niin viljelijälle itselleen kuin esimerkiksi viljelytietojen analysoinnin tai lannoitussuunnitelman laatimisen tehtäväkseen saaneelle palvelulle vaivattomasti. Palvelu voi olla manuaalista palvelua taikka osittain tai kokonaisuudessaan automatisoitua koneiden välistä viestintää. Viestintä voi tapahtua sekä kiinteän että viljelijän liikkuvaa työtä hyvin palvelevan langattoman teknologian avulla.

Liikkuvat internet-teknologiat tekevät mahdolliseksi esimerkiksi sen, että traktori-kylvölannoitinyhdistelmä lähettää työn aikana keräämäänsä tietoa lannoituksen ja kylvön paikka-kohtaisesta toteutumisesta reaaliaikaisesti suoraan pellolta maatalan tietokantaan. Eri-

laiset kasvinviljelyyn perehtyneet paikkatietopalvelut jalostavat työkoneiden tuottamasta raakadatasta viljelysuunnittelussa tarvittavaa käyttökelpoista tietoa. Kun viljelijä myöhemmin työstää toimistopöytänsä ääressä raporttia suoritetuista kylvöistä, arvioi viljelyn onnistumista ja suunnittelee parannuksia seuraavan kasvukauden viljelytoimenpiteisiin, tiedot aiemmista toteutuksista latautuvat automaattisesti suunnitteluohjelmaan tilan tietokannasta.

Kaiken kaikkiaan tiedonhallinnan järjestämisessä on monia vaihtoehtoja niin järjestelmä- ja laitevalintojen kuin tiedonhallinnan osaamisasteen suhteen. Viljelijä voi tarvittaessa hoitaa kaiken tiedonhallinnan itse tai hän voi turvautua osittain palveluihin. Kokonaisuuden hallinta on kuitenkin viljelijän itsensä tehtävä. Automaation ja asiantuntijajärjestelmien kehittyessä viljelijän päivittäinen työ on yhä enenevässä määrin maatilan liikkeenjohdollisia tehtäviä. Muu teknologiaosaaminen määräytyy viljelijän oman harrastuneisuuden pohjalta.

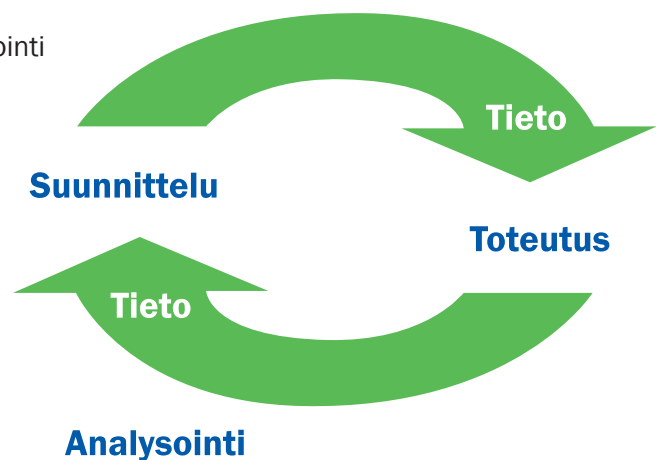


Kuva 27. Näkemys viljelijän työtä tukevasta maatilan tiedonhallinnasta automatisoidun kasvinviljelyn maatilalla (InfoXT -projekti). Piirros: JTI, Ruotsi

## 6. Arviointi

Nykyaikaisella täsmäviljelytekniikalla tallennetaan viljelytöiden aika, paikka ja tehty työ (esimerkiksi lannoitusannos) koneiden muistiin. Sieltä tiedot on siirrettävissä maatilan muihin tietojärjestelmiin, esimerkiksi viljelysuunnitteluohjelmiin. Tallennettuja tietoja verrataan suunnitelmiin, jolloin saadaan käsitys työn onnistumisesta. Tiedonkeruu sekä analysoidun tiedon käyttö suunnitteluun ja toteutuksen käskytykseen seuraavat työvaiheina toisiaan (kuva 28).

1. Lähtötiedon keruu
2. Tiedon analysointi
3. Suunnittelu kerätyn ja muun tiedon pohjalta
4. Toteutus
5. Palautetiedon keruu ja tiedon analysointi
6. Palautetiedon käyttö suunnittelussa



Kuva 28. Täsmäviljely on tiedon käyttöä viljelyn jatkuvaksi parantamiseksi.

Viljelyn toteutuman vertaaminen suunnitelmaan on oleellinen osa täsmäviljelyä - avain viljelyprosessien parantamiseen. On tärkeää saada palautetietoa siitä, ylitettiinkö vai jäätettiinkö alle määrällisten ja laadullisten tavoitteiden. Jos toteutuma poikkeaa suunnitelmasta, on tärkeä tutkia ja analysoida syyt tapahtuneeseen. Kun saadaan selville syy siihen, miksi toteutuma jäi alle suunnitellun, otetaan tämä tieto käyttöön seuraavaa suunnitelmaa tehdessä ja koetetaan näin välttää virheen toistaminen. Myös silloin, kun onnistuttiin yli odotusten, on hyvä selvittää syy tähän. Olisiko onnistuminen toistettavissa?

Arvioinnin kohteena on niin viljelyn tekninen suoritus kuin saavutettu sato ja ravinnetase. Mitattua ja dokumentoitua työn toteutusta ja työkonetjujen teknistä toimintaa sekä saavutettua sadon määrää ja laatua verrataan suunniteltuihin.

Ravinnetaseiden tarkastelun kohdalla on syytä tarkistaa ja kirjata muistiin seuraavat seikat:

- Toteutuiko lannoitus suunnitellusti (oikea lannoitelaji, päällekkäin ajo, häiriö syöttölaitteissa ym.)?
- Oliko kasvuston tiheys suunniteltu ( $\text{kpl/m}^2$ ), onnistuiko orastuminen, oliko siemenmäärä riittävä ja kylvön ajoitus oikea (maan lämpötila ja kosteus), esiintyikö syöttöhäiriötä kylvö-

koneessa, saavutettiin sopiva kylvösyvyys?

- Esiintyikö hallaa (ankaruus ja ajoittuminen)?

- Olivatko maan kosteusolot poikkeukselliset eri vaiheissa kasvukautta (kuivuuden tai märkyiden poikkeaminen kasvupaikan keskimääräisistä kasvukauden aikaisista arvoista sekä ajoittuminen)?

- Esiintyikö kasvupaikoilla torjuntakynnyksen tai jo suunnitelmassa huomioon otetun määrän ylittävä määrä tuholaisia, kasvitauteja ja rikkakasveja, onnistuttiinko torjunnassa?

Ravinnetaseiden näkökulmasta tarkasteltuna täsmäviljelyn hyödyllisyys yksittäisellä maatilalla riippuu pellon viljelyominaisuuksien vaihtelun määrästä peltolohkojen sisällä sekä peltoalan kokonaismäärästä. Muita näkökohtia täsmäviljelyn hyödyllisyyttä arvioitaessa ovat mm. suunnittelun, konetyön ja raportoinnin vaatima työmäärä, polttoaineen kulutus, työviihtyvyys sekä ajantasainen tilannetietoisuus viljelyprosessien tilasta, panoksista ja tuotoksista maatilan päätöksenteon perustana.

## 7. Johtopäätökset

Ravinnetaseiden vaihtelut peltolohkojen välillä ja myös niiden sisällä voivat olla suuria. Typitaseen vaihtelu peltolohkon sisällä hehtaaria kohden laskettuna voi olla useita kymmeniä kiloja. Fosforitaseen vaihtelu voi olla useita kiloja hehtaaria kohden. Toisissa paikoissa lannoituspanoksia hukataan, jolloin sadon käyttämättä jättämät ravinteet ovat alttiina huuhtoutumiselle pinta- ja pohjavesiin. Toisissa pellon osissa puolestaan sadontuottokyky saattaa olla vajaassa käytössä. Molemmissa tapauksissa aiheutuu taloudellista menetystä.

Silmämääräisesti ravinnetaseiden vaihtelun määrän todentaminen on mahdotonta, ja siksi tarvitaan erilaisia mittaamenetelmiä. Täsmäviljelytekniikat tarjoavat käytännön työkaluja pellon vaihtelun mittaamiseen sekä vaihtelun huomioon ottamiseen viljelyn toteutuksessa. Viime vuosina markkinoilla saatavilla olleet täsmäviljelylaitteistot ja -ohjelmistot on koettu kalliiksi ja niiden käyttö liikaa ylimääräistä vaivannäköä vaativiksi, mikä on hidastanut niiden käyttöönottoa. Myös tieto niiden hyödyistä on ollut puutteellista. Alati kehittyvät ja yleistyvät tekniikat kuitenkin halpenevat ja tulevat entistä luotettavammiksi ja käytettävämiksi. Nykyisin on tarjolla jo varsin käyttökelpoista ja edullista teknologiaa ja palveluja pellon vaihtelun, esimerkiksi biomassan vaihtelun mittaamiseen pellolla, mikä on lähtökohta täsmäviljelylle.

Paikkatiedon hallinta on täsmäviljelyn avain. Tieto ja sen keruu niin viljelyprosessista kuin viljelyolosuhteista on paikkaan sidottua. Paikannus- ja paikkatietoteknologiat ovat kehittyneet huimin askelin viimeisten vuosien aikana. Niiden hinta ja käytettävyyden ovat jo nyt kohtuullisella tasolla niiden yleisen käytön ansiosta. Paikkatiedon mittaaminen ja yhdistäminen eri lähteistä, tiedon analysointi ja käyttö viljelyn suunnittelussa sekä työn ja koneiden ohjaamisessa vaatii uudenlaista osaamista ja asennoitumista niin viljelijältä kuin hänen työtään tukevalta ja siihen linkittyvältä toimijaverkolta.

Lähitulevaisuudessa on odotettavissa automaation käytön lisääntyminen maataloudessa niin työkonien, tiedonkeruun kuin tiedonhallinnan osalta. Sensori- ja sensoriverkkoteknologiat, kaukokartoitusteknologiat, ISOBUS-työkoneet ja web-pohjaiset tiedonhallintapalvelut asemoivat viljelyn ja sen toteutustekniikat uudelle tietämyksen, käytön ja tietoisuuden tasolle. Tuotantoprosessien tarkempi ohjaaminen helpottuu. Uusien teknologioiden mahdollistama vaivaton tiedonkeruu ja työn dokumentointi avaavat mahdollisuuden parempaan tuotannon läpinäkyvyyden ja vastuullisuuden osoittamiseen.



## 8. Sanasto

### **CAN**

Controller Area Network on automaation tiedonsiirtoväylä. CAN-väylässä kaikki liikenne välitetään kaikille järjestelmään liitetuille laitteille. Vastaanottava laite päättää viestin tunnisteen perusteella kuuluuko viesti myös sille.

### **DGPS**

Differential GPS, GPS-paikannusta tarkentava menetelmä. Korjaustietojen laskemista varten mittaus suoritetaan myös tunnetulla pisteellä, josta korjaustiedot välitetään yleensä radioteitse GPS-paikantimelle.

### **Dokumenttiedosto**

Automaatiojärjestelmän mittaama ja tallentama tiedosto toteutuneesta peltotyöstä.

### **EGNOS**

GPS-paikannusta tarkentava järjestelmä, joka lähettää korjaustiedot satelliitin välityksellä.

### **FMIS**

Farm Management Information System, maatilan tiedonhallintajärjestelmä, jonka avulla viljelijä hallitsee viljelykirjanpidon, voi tehdä työtehtäviin tarvittavia TASK-tiedostoja ja käsitellä työvaiheista mitattuja dokumenttiedostoja.

### **GIS**

Geographic Information System, paikkatietojärjestelmä.

### **GLONASS**

GPS-järjestelmän kaltainen satelliittipaikannusjärjestelmä.

### **GNSS**

Global Navigation Satellite Systems, satelliittipaikannus.

### **GPS**

Global Positioning System, yleisin satelliittipaikannusjärjestelmä.

### **ICT**

Information and Communication Technology, tieto- ja viestintäteknologia.

### **Implement ECU**

ISO 11783 Implement Electronic Control Unit, työkoneohjain, joka sisältää kaikki työkoneen ominaisuudet sekä käyttöliittymän lataamisen VT:lle.

## **Interpolointi**

Tarkoittaa uusien arvojen laskemista olemassa olevien mittaustulosten väliin.

## **ISO**

International Organization for Standardization.

## **ISO 11783**

Traktorin ja työkoneneen välinen avoin tiedonsiirtostandardi, joka määrittää tiedonsiirron formaatit ja rajapinnat eri laitekomenttien välille.

## **ISOBUS**

Kauppanimi virallisesti testatuille tuotteille jotka ovat ISO 11783 -yhteensopivia.

## **Karttaprojektio**

On tapa, jonka mukaan maapallon pinta oikaistaan tasoksi siten, että jokainen maapallon piste projisoidaan tasolle. Oikaisu on aina likimääräinen. Syntyvät virheet ovat sitä suurempia, mitä suurempi alue kerralla projisoidaan.

## **Koordinaatisto**

Järjestelmä, jossa ilmoitetaan pisteen sijainti tasolla tai kolmiulotteisessa avaruudessa etäisyyksinä ja/tai kulmina ennalta määräytyistä koordinaattiakseleista tai nollatasoista lähtien.

## **NDVI**

Normalized Difference Vegetation Index on menetelmä, jossa kuvatus kohteen kasvillisuuden kuntoa ja laatua mitataan suhteellisesti tietyllä kuvausalueella. Menetelmässä verrataan lähi-infrapunan ja punaisen valon aallonpituuksien eroa kohteessa.

## **NIR**

Near Infrared Reflectance, Mittauslaite lähettää materiaaliin lähi-infrapuna alueen aaltoja ja pääättelee takaisin heijastuneiden säteiden määrästä näytteen kuiva-ainepitoisuuden.

## **NIT**

Near Infrared Transmittance, Mittauslaite lähettää mitattavan materiaalin läpi lähi-infrapuna alueen aaltoja, ja pääättelee näytteeseen imeytyneistä aallonpituuksista ja läpipäässeiden aallonpituuksien energioista, paljon mitattavaa laatua (mm. kosteus-, proteiini- ja tärkkelyspitoisuus) näytteessä on.

## **Offline-mittaus**

Peltolohkolta etukäteen kerättyjen tietojen perusteella peltolohkon tilasta (mm. maanäytteet ja sato-kartta).

## **Offline-säätö**

Etukäteen tehdyn suunnitelman toteuttaminen tavoitekartaan perusteella (esim. peruslannoituksen VRA-kartta).

### **Online-mittaus ja -säätö**

Reaaliaikainen eli ajon aika tehty mittaus kasvuston tilasta tai ympäristöstä, jolla vaikutetaan ajon aikana tehtävään säätöön (esim. kasvuston lisälannoitus NDVI-mittauksen perusteella).

### **Paikkatieto**

Paikannettua kohdetta tai ilmiötä kuvaava sijaintitiedon ja ominaisuustiedon tietokokonaisuus.

### **PDA**

Personal Digital Assistant, kämmentietokone.

### **Pikseli**

Kuva-alkio, joka on kuvan pienin alkio ja jota käytetään rasterikuvien muodostamiseen.

### **Polygoni**

Pintapala, joka voidaan esittää tasomaisesti.

### **RTK**

Real Time Kinematic eli tosiaikainen kinemaattinen mittaus. Menetelmä on tarkin yleisistä GPS-paikannusmenetelmistä.

### **Tablet PC**

Yleensä kosketusnäytöllinen tietokone, jossa ei ole erillistä näppäimistöä.

### **Task**

Peltoviljelyn työtehtävä (muokkaus, lannoitus, ruiskutus, puinti jne.)

### **Task-tiedosto**

TASK-file, Maatilan tiedonhallintajärjestelmällä luotu suunnitelmätiedosto, joka sisältää peltoviljelyn työtehtävien asetusarvot ja tavoitekartan työkoneille.

### **TC**

ISO 11783 Task Controller, tehtäväohjain, joka toimii tiedonsiirtolinkkinä työkoneyhdistelmän ja maatilan tiedonhallintajärjestelmän välillä. TC toimii järjestelmässä myös täsmäviljelyohjaimena ja se hoitaa paikkakohtaisen säädön ja tiedonkeruun.

### **Tractor ECU**

ISO 11783 Tractor Electronic Control Unit, traktorin tietokone, joka lähettää ISO 11783 -väylälle traktorin tietoja (mm. ajonopeus, pto ja nostolaitteen asema tiedot).

### **Vektorimuotoinen tieto**

Tieto, jonka geometria esitetään 2-D-avaruudessa pisteinä, viivoina tai alueina.

## **WGS-84**

World Geodetic System 1984, on yleisesti käytetty GPS-paikannuksessa. Tarkkaan ottean se on geodeettinen datum, jonka origo on hyvin lähellä maapallon painopistettä ja jonka parametrit määrittelevät maapallon pintaa approksimoivan ellipsoidin.

## **VRA**

Variable Rate Application, on sovellus, jonka mukaan työkone säättää paikkakohtaisesti hetkellistä työmääräänsä peltolohkon sisällä.

## **VRS**

Virtual Reference Station, palveluna hankittava GPS-tarkennus, joka peustuu kattavaan maanpäälliseen tukiasemaverkostoon.

## **VT**

ISO 11783 Virtual Terminal, virtuaaliterminaali, joka on yhteinen käyttöliittymälaite kaikille ISOBUS-koneille.

## **XML**

Extensible Markup Language on ns. merkintäkieli, jolla pyritään erottamaan tekstin looginen rakenne sen sisällöstä.



<i>Julkaisija</i>	TEHO-hanke			<i>Julkaisuaika</i> Joulukuu 2010
<i>Tekijä(t)</i>	Liisa Pesonen, Jere Kaivosoja ja Pasi Suomi			
<i>Julkaisun nimi</i>	Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentaminen			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	TEHO-hankkeen julkaisuja 5/2010			
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Ravinnetaseiden vaihtelut peltolohkojen välillä ja myös niiden sisällä voivat olla suuria. Toisissa paikoissa lannoituspanoksia hukataan, jolloin sadon käyttämättä jättämät ravinteet ovat alttiina huuhtoutumiselle pinta- ja pohjavesiin. Toisissa pellon osissa puolestaan sadontuottokyky saattaa olla vajaassa käytössä. Molemmissa tapauksissa aiheutuu taloudellista menetystä. Silmämääräisesti ravinnetaseiden vaihtelun määrän todentaminen on mahdotonta, ja siksi tarvitaan erilaisia mittausmenetelmiä. Alati kehittyvät täsmäviljelytekniikat tarjoavat käytännön työkaluja pellon vaihtelun mittaamiseen sekä vaihtelun huomioon ottamiseen viljelyn toteutuksessa. Kehittyvät ja yleistyvät tekniikat halpenevat, tulevat entistä luotettavammiksi ja käytettävämmiksi. Paikkatiedon hallinta on täsmäviljelyn avain. Paikkatiedon mittaaminen ja yhdistäminen eri lähteistä, tiedon analysointi ja käyttö viljelyn suunnittelussa sekä työn ja koneiden ohjaamisessa vaatii uudenlaista osaamista ja asennoitumista niin viljelijältä kuin hänen työtään tukevalta ja siihen linkittyvältä toimijaverkolta. Lähtötilaisuudessa on odotettavissa automaation käytön lisääntymistä niin työkonien, tiedonkeruun kuin tiedonhallinnan osalta. Sensori- ja sensoriverkkoteknologiat, kaukokartoitusteknologiat, ISOBUS-työkoneet ja web-pohjaiset tiedonhallintapalvelut asemoivat viljelyn ja sen toteutustekniikat uudelle tietämyksen, käytön ja tietoisuuden tasolle. Tuotantoprosessien tarkempi ohjaaminen helpottuu. Uusien teknologioiden mahdollistama vaivaton tiedonkeruu ja työn dokumentointi avaavat mahdollisuuden parempaan tuotannon läpinäkyvyyden ja vastuullisuuden osoittamiseen.</p> <p>Raportti on toteutettu osana Tehoa maatalouden vesiensuojeluun (TEHO) -hanketta.</p>			
<i>Asiasanat</i>	täsmäviljely, ravinnetase, automaatio, tiedonhallinta, ISOBUS, GIS			
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	TEHO-hanke			
	ISBN 978-952-257-156-4 (nid.)	ISBN 978-952-257-157-1 (PDF)	ISSN 1798-1115 (pain.)	ISSN 1798-1123 (verkkok.)
	<i>Sivuja</i> 53	<i>Kieli</i> suomi	<i>Luottamuksellisuus</i> julkinen	<i>Hinta</i> -
<i>Julkaisun myynti/jakaja</i>	TEHO-hanke / Varsinais-Suomen ELY-keskus Ympäristö ja luonnonvarat PL 523, 20101 Turku puh. 020 636 0060			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	TEHO-hanke			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Edita Prima Oy, Helsinki 2010			



## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	TEHO project			<i>Date</i> December 2010
<i>Author(s)</i>	Liisa Pesonen, Jere Kaivosoja and Pasi Suomi			
<i>Title of publication</i>	Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentaminen			
<i>Publication series and number</i>	TEHO-hankkeen julkaisuja 5/2010			
<i>Abstract</i>	<p>Variation of nutrient balance between and within the field can be significant. In some parts of the field some of the fertilisers are lost, and nutrients unused by plants are prone to leaching to surface and ground waters. In some parts of the field the yield potential is not fully utilised. In the afore mentioned cases there economical losses occur. It is impossible to determine in-field variations in nutrient balances without measurements. The continuously developing precision farming technologies provide practical tools for the measurement and control in farming. As technologies develop and become common, they also become cheaper, more reliable and usable. The management of geo-spatial information is the key to precision farming. The measurement of spatial data, combining it from various sources, analyzing and using it in farm planning and control of work and machinery, requires new skills and orientation from both the farmers and the networks supporting them towards farming work . In the near future, the utilisation of automation in machinery, data acquisition and information management will increase. Sensor and sensor network technologies, remote sensing technologies, ISOBUS in machinery and web-based information management services will set farming and its technology to a new level of knowledge use and awareness. The control of production processes becomes easier. These new technologies promote easy data acquisition and documentation of work for better possibilities to show transparency and responsibility of farm production.</p> <p>The report is published as a part of TEHO project.</p>			
<i>Keywords</i>	precision farming, nutrient balance, automation, information management, ISOBUS, GIS			
<i>Financier/ commissioner</i>	TEHO project			
	ISBN 978-952-257-156-4 (pbk.)	ISBN 978-952-257-157-1 (PDF)	ISSN 1798-1115 (print)	ISSN 1798-1123 (online)
	<i>No. of pages</i> 53	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i> -
<i>For sale at/ distributor</i>	TEHO project / Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southwest Finland P.O. Box 523, FIN-20101 Turku tel. +358 20 636 0060			
<i>Financier of publication</i>	TEHO project			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Oy, Helsinki 2010			

Ravinnetaseiden vaihtelut peltolohkojen välillä ja niiden sisällä voivat olla suuria. Käyttämättä jääneet ravinteet ovat alttiina huuhtoutumiselle, kun taas osassa lohkoa pellon sadontuottokyky voi olla vajaakäytössä. Molemmissa tapauksissa aiheutuu taloudellista menetystä. Silmämääräisesti ravinnetaseiden vaihtelun määrän todentaminen on mahdotonta. Täsmäviljelytekniikat tarjoavat käytännön työkaluja pellon vaihtelun mittaamiseen sekä vaihtelun huomioon ottamiseen viljelyn toteutuksessa. Uusien teknologioiden mahdollistama vaivaton tiedonkeruu ja työn dokumentointi avaavat myös mahdollisuuden entistä parempaan tuotannon läpinäkyvyyden ja vastuullisuuden osoittamiseen.



ISBN 978-952-257-156-4 (nid.)  
ISSN 1798-1115 (pain.)  
ISBN 978-952-257-157-1 (PDF)  
ISSN 1798-1123 (verkkokj.)